

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Taktik des mobilen Löscheinsatzes
bei Thermoplasten,

Teil 2: Bewertung der Löschwirkung
bei unterschiedlichen
Thermoplasten an ebenen
Flächen und geometrischen
Körpern

92

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V - "UNTERAUSSCHUSS FEUERWEHRANGELEGENHEITEN"

Taktik des mobilen Löscheinsatzes bei Thermoplasten

**Teil 2: Bewertung der Löschwirkung bei unterschiedlichen
Thermoplasten an ebenen Flächen und
geometrischen Körpern**

Forschungsbericht Nr. 92

für die Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Arbeitskreis V - Unterausschuß „Feuerwehrangelegenheiten“

Bearbeiter: Dr. rer. nat. Georg Pleß
Dipl.- Chem. Ursula Seliger

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Heyrothsberge
Oktober 1994

1. BERICHTSNUMMER

322

2. TITEL DES BERICHTES (KURZ)

Brandbekämpfung Thermoplaste Teil 2

3. AUTOR(EN)

Brandoberrat Dr. Georg Pleß
Dipl.-Chem. Ursula Seliger

4. DURCHFÜHRENDE INSTITUTION (NAME/ANSCHRIFT)

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Biederitzer Straße 5
D-39175 Heyrothsberge
Direktor: Branddirektor
Prof. Dr. rer. nat. habil. Grabski

5. FÖRDERNDE INSTITUTION/AUFTRAGGEBER (NAME/ANSCHRIFT)

6. ABSCHLUßDATUM

Oktober 1994

7. FÖRDER-/ AUFTRAGS-NR.

IMK 5 (1/93) H

8. SEITENZAHL

24

9. ABBILDUNGEN

9

10. TABELLEN/DIAGRAMME

10 / 28

11. LITERATURANGABEN

10

12. KURZFASSUNG

Im der Arbeit wurden Löschversuche mit Thermoplasten auf ebenen Flächen und geometrischen Körpern ausgeführt. Es wurde nachgewiesen, daß Polyolefine als Modellsubstanzen für Löschversuche mit Thermoplasten angesehen werden können. Die Untersuchungen an geometrischen Objekten zeigten, daß Löscherfolge nur dann erzielt werden, wenn das Löschmittel auf die geschmolzene Plastoberfläche aufgebracht werden kann. Damit wird die Art der Aufbringung der Löschmittel wichtigstes Kriterium für den Löscherfolg bei Thermoplasten.

13. SCHLAGWÖRTER

Thermoplaste, Polyethylen, Polypropylen,
Polymethylmethacrylat, Kautschuk,
Polystyrol, Brand, Beurteilung,
Brandbekämpfung Abbrandgeschwindigkeit,
Messung, Löschmittel, Schaummittel

14. VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

Oktober 1994

Inhaltsverzeichnis:

1. Löschversuche an unterschiedlichen Thermoplasten.....	4
1.1 Vorbemerkungen.....	4
1.2 Versuchsanordnung.....	4
1.3 Durchführung der Löschversuche.....	4
1.4 Ergebnisse der Löschversuche.....	5
1.4.1 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Brandverhalten.....	5
1.4.2 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zur Löschbarkeit.....	7
2. Löschversuche an geometrisch unterschiedlichen Oberflächen.....	10
2.1 Versuchsobjekt Kleinladungsträger.....	10
2.1.1 Vorbemerkungen.....	10
2.1.2 Versuchsdurchführung.....	10
2.1.3 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Brandverhalten.....	11
2.1.4 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Löschen.....	13
2.2. Versuchsobjekt Kautschukballen.....	16
2.2.1 Vorbemerkungen.....	16
2.2.2. Versuchsdurchführung.....	17
2.2.3 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Brandverhalten.....	17
2.2.4 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Löschen.....	21
2.3. Weitere Ergebnisse von Löschversuchen mit Thermoplaste.....	22
3. Zusammenfassung.....	24
4. Literatur:.....	25

1. Löschversuche an unterschiedlichen Thermoplasten

1.1 Vorbemerkungen

Die Weiterführung der Untersuchungen zur Taktik des mobilen Löscheinsatzes bei Thermoplasten war darauf gerichtet, aus der Palette der in der Praxis verwendeten Thermoplaste und der unterschiedlichen Typen innerhalb einer Plastart ein für die Ableitung der Löschwirkungen und taktischen Maßnahmen typisches Musterprodukt auszuwählen. Verschäumte Thermoplaste wurden nicht berücksichtigt. Da bereits an früherer Stelle [1] grundsätzliche Aussagen zu verschiedenen Typen bestimmter Plastarten getroffen wurden, sollten hier Typen, die als Massenprodukt angeboten werden, für die Untersuchungen verwendet werden.

Mit den wichtigsten Vertretern der Thermoplaste, welche Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polystyrol sind, sowie mit dem Elastomer Kautschuk wurden Löschversuche an ebenen Flächen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war die Einordnung der wesentlichen thermoplastischen Verbindungen hinsichtlich ihrer Löscharkeit.

1.2 Versuchsanordnung

Grundlage bildete die Versuchsanordnung, die im Forschungsbericht "Taktik des mobilen Löscheinsatzes bei Thermoplasten" Teil 1: "Beurteilung der Phasengrenzfläche und Löschversuche an ebenen Flächen" [2] beschrieben und verwendet wurde. Durch die Anwendung des gleichen Brandobjektes konnten die Löschversuche mit den bisherigen Untersuchungen verglichen und damit allgemeingültige Schlußfolgerungen abgeleitet werden. Als Löschdüse wurde ausschließlich die Axial-Vollkegeldüse Typ 460 804 mit einer Löschintensität von $7,2 \text{ l/min} \cdot \text{m}^2$ bei einem anliegenden Wasserdruck von 2 bar verwendet. Die Löschintensität auf der Versuchsbrandfläche wurde experimentell bestimmt, da der vom Düsen-Hersteller angegebene Durchsatz von 10 l/min nicht vollständig auf die Versuchsfläche appliziert werden konnte. In der Versuchsdurchführung gab es bis auf die jeweils stoffspezifische Brandausbreitung über die gesamte Versuchsbrandfläche keine Veränderungen.

1.3 Durchführung der Löschversuche

Alle Brandmedien, mit Ausnahme von Kautschuk, standen als Granulat zur Verfügung. Die Schüttung auf der Versuchsfläche wurde mit einer Masse von jeweils 50 kg zu Beginn des Versuches konstant gehalten. Bei Kautschuk wurden ebenfalls 50 kg möglichst gleichmäßig auf der Brandwanne verteilt, aber in diesem Fall die Vorbrennzeit erst registriert, nachdem die gesamte Brandfläche mit Schmelze bedeckt war und die Flammen sich über die gesamte Fläche ausgebreitet hatten.

Alle Versuche wurden mit 500 ml Benzin in Sägemehl von einer Seitenkante aus gezündet. Nachdem die Brandausbreitung über die gesamte Fläche abgeschlossen war, wurde eine Brennzeit von 5 min eingehalten. Nach dieser Zeit des vollen Brennens erfolgte die Applikation des Löschmittels gleichmäßig auf der gesamten Brandfläche. Als Löszeit wurde die Zeit vom Beginn der Applikation bis zum Löschen der Flammen registriert. Zu diesem Zeitpunkt wurde dann die Löschmittelzufuhr sofort unterbrochen.

Neben der Messung des Abbrandes, des Löschmittelvolumenstromes und der mittleren Eintrittsgeschwindigkeit der Luft wurden im Raum und in der Schüttung

Temperaturmessungen ausgeführt. Neben der Beobachtung der Versuche erfolgte vor allem nach dem Ablöschen eine visuelle Bewertung der Brandrückstände.

1.4 Ergebnisse der Löschversuche

1.4.1 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Brandverhalten

Polyethylen ähnelte in seiner Brandausbreitung und im Abbrandverhalten sehr stark dem Polypropylen. Nach der Zündung bildeten sich einzelne Brandherde entlang der gezündeten Seitenkante, welche Vertiefungen in der Oberfläche erzeugten, in denen sich hochviskose Lachen geschmolzenen Materials ausbildeten. Die über diesen Lachen stehende Flamme kann als laminare Flamme bezeichnet werden. Infolge der geringen Wärmeleitfähigkeit des Polyethylens wurde das in unmittelbarer Nähe des Brandherdes befindliche Material nur sehr langsam aufgeschmolzen. Die Ausbreitung des Brandes über die Versuchsfläche konnte bei einigen Versuchen erst nach mehr als 1 h erreicht werden.

Die Stoffe Kautschuk, Polystyrol und PMMA verhielten sich dagegen wesentlich ungünstiger. Bereits unmittelbar nach der Zündung bildete sich eine ausreichend große Flamme, die eine Wärmeübertragung durch Strahlung garantierte. Die entstandenen Schmelzen waren beim Kautschuk und beim Polystyrol niedrigviskos, so daß sie sich leicht ausbreiten konnten. Beim PMMA entstanden großflächige Aufblähungen, was zur Verteilung der Schmelze führte. Die Brandausbreitung bis zum Vollbrand auf der Fläche von 1 m² erreichte bei Polystyrol mit einer Zeit von 3 min ihren höchsten Wert. Beim Kautschuk wurden Zeiten von 8 - 12 min erreicht, wobei in diesem Fall die Ausbreitung der Schmelze mit eingerechnet werden mußte. Beim PMMA wurde nach ca. 10 min die gesamte Brandfläche durch die Flamme erfaßt. Wie schon in [1] festgestellt, nahm die Konsistenz der Schmelzen bei den Versuchen in der Reihenfolge PE, PP, PMMA, Kautschuk, Polystyrol ab. Aus der Untersuchung der Brandrückstände der Versuche konnte geschlußfolgert werden, daß die Schichtdicke der Schmelzen dagegen in umgekehrter Reihenfolge zunahm.

Nachdem die Brandfläche vollständig durch die Flammen erfaßt worden war, stellte sich bei allen Thermoplasten eine nahezu konstante Abbrandgeschwindigkeit ein. Aus den Versuchen konnten die in Tabelle 1.1 fixierten mittleren Abbrandgeschwindigkeiten errechnet werden.

Tabelle 1.1: Mittlere Abbrandgeschwindigkeit der Thermoplaste

Thermoplast	Anzahl der Versuche	Abbrandgeschwindigkeit in kg/m ² * min
Polypropylen	6	1,07
Polyethylen	6	0,82
Kautschuk	6	0,83
Polymethylmethacrylat	6	1,17
Polystyrol	2	1,12

Die grafischen Darstellungen des Abbrandes erfolgen in den Abbildungen 1.1; 1.5; 1.9, 1.13 und 1.17. Die aus den Versuchen erhaltenen Werte erreichten die in der Literatur angegebenen Größenordnungen [1].

In den Abbildungen 1.2 bis 1.4; 1.6 bis 1.8; 1.10 bis 1.12; 1.14 bis 1.16 und 1.18 bis 1.19 sind die bei den Versuchen gemessenen Deckentemperaturen als Mittelwert, gebildet aus 7 Meßstellen, dargestellt. Die höchsten Temperaturwerte sind in Tabelle 1.2 zusammengefaßt.

Tabelle 1.2: Höchste Deckentemperaturen während des Brandes

Thermoplast	Versuch-Nr.	Deckentemperatur in °C
Polypropylen	1	409
	2	362
	3	397
	4	302
	5	344
	6	250
Polyethylen	1	341
	2	230
	3	416
	4	338
	5	348
	6	346

Thermoplast	Versuch-Nr.	Deckentemperatur in °C
Kautschuk	1	389
	2	319
	3	298
	4	297
	5	402
	6	335
Polymethylmethacrylat	1	265
	2	230
	3	340
	4	265
	5	455
	6	398
Polystyrol	1	245
	2	210

Die Streuung ist selbst bei den gemittelten Werten noch sehr stark. Das ist vor allem durch die unterschiedlichen Aufheizzeiten im Raum, bedingt durch die Brandausbreitung, zu erklären.

1.4.2 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zur Löscharkeit

Durch die Auswahl der Löschdüse waren von vornherein kurze Löscharzeiten programmiert. Kurze Löscharzeiten waren vor allem deshalb erwünscht, um nach dem Versuch an Hand der Konstitution des gelöschten Brandobjektes Aussagen über die Löscharwirkung des jeweiligen Löschmittels an der Oberfläche zu erhalten. Aus den bisherigen Kenntnissen über das thermische Verhalten der verschiedenen Plaste war zu erwarten, daß die Wirkung des Löschmittels in der Reihe der

- mit statistischer Verteilung niedermolekulare Kettenbruchstücke abspaltenden Thermoplaste (statistische Zersetzung),
- Monomere bildende Thermoplaste (Depolymerisation) und
- kurzkettige Bruchstücke produzierende Thermoplaste (Stripping)

zunimmt. Damit müßten die Thermoplaste Polyethylen und Polypropylen deutlich höhere Löscharzeiten beim Einsatz von Wasser ohne Zusätze ergeben. In Tabelle 1.3 sind die Ergebnisse der Löscharversuche zusammengefaßt.

Tabelle 1.3: Meßwerte der Löschversuche an Thermoplaste auf einer Brandfläche von 1m²

Versuch-Nr.	Thermoplast	Löschmittel	Vorbrennzeit in min	Brandausbreitungszeit in min	Löschzeit in s
K1	Kautschuk	Wasser	5	7	7,5
K2			5	7	5,3
K3		C-Tensidlösung	5	7	2
K4			5	10	2,5
K5		F-Tensidlösung	5	10,5	0,95
K6			5	9	1,0
PM1	Polymethylmethacrylat (PMMA)	Wasser	5	15	1,3
PM2			5	15	1,4
PM3		C-Tensidlösung	5	30	0,6
PM4			5	15	0,4
PM5		F-Tensidlösung	5	15	0,3
PM6			5	15	0,7
PE1	Polyethylen	Wasser	5	85	34,7
PE2			5	65	27,8
PE3		C-Tensidlösung	5	105	18,2
PE4			5	45	5
PE5		F-Tensidlösung	5	40	4,9
PE6			5	35	4,5
PP1	Polypropylen	Wasser	5	35	29,1
PP2			5	25	21,7
PP3		C-Tensidlösung	5	20	15,5
PP4			5	30	11,0
PP5		F-Tensidlösung	5	30	5,5
PP6			5	25	5,0
PS1		Wasser	3	3	2,8
PS2		F-Tensidlösung	3	4	0,9

Aus den Ergebnissen der Löschversuche ging hervor, daß die Thermoplaste Polyethylen und Polypropylen bei allen Löschmitteln die höchsten Löschzeiten erforderten. Insbesondere beim Einsatz von Wasser wurde der Unterschied in der Löschzeit gegenüber allen übrigen Thermoplasten deutlich. Aber auch beim Einsatz der Tensidlösungen waren längere Löschzeiten erforderlich.

Die Ursache für dieses Verhalten ist vor allem in den Eigenschaften der Schmelze zu sehen. Infolge der geringen Brandausbreitung konnten sich bei den Thermoplasten Polyethylen und Polypropylen Schmelzen von ca. 6 - 10 mm Dicke ausbilden. Diese Schmelzen bestehen aufgrund des thermischen Verhaltens dieser Thermoplaste aus unterschiedlich langen (statistisch verteilten) Kettenbruchstücken. Diese Bruchstücke haben eine Temperatur von 390 - 450 °C (Zersetzungstemperatur). Sie besitzen eine vergleichsweise hohe Viskosität, die für

Polyethylen bei 280 °C noch 100 Pa*s betragen kann [1]. Alle Polyolefinschmelzen sind strukturviskos. Das bedingt ein erhebliches Absinken der Viskosität bei Auftreten einer Scherkraft, die beispielsweise von einem fallenden Wassertropfen hervorgerufen werden kann. Die schlagartig geringer werdende Viskosität begünstigt vorzugsweise das Herauslösen von Partikeln aus der Schmelze. Diese Erscheinung ist insbesondere beim Einsatz von Wasser zu bemerken. Sie führte in der Anfangsphase des Löschens zu einer schlagartigen Temperaturerhöhung im Raum. In den Abbildungen 1.20 und 1.22 sind diese Erscheinungen deutlich zu erkennen.

Die übrigen Thermoplaste depolymerisieren in hohem Maße bzw. bilden kurzkettige Molekülbruchstücke, die bei den Schmelztemperaturen sofort in die Gasphase übergehen. Dadurch ist die Ausbildung von Plastschmelzen mit großer Schichtdicke gemindert. Die Abbildungen 1.19; 1.21 und 1.22 zeigen den typischen Temperaturverlauf unmittelbar am Löschvorgang.

Neben der Beobachtung der Versuche erfolgte vor allem eine visuelle Bewertung der Brandrückstände nach dem Löschversuch. Bei allen Schüttungen konnte beobachtet werden, daß auch nach langen Brandentwicklungszeiten von mehr als 1 h ungeschmolzenes Granulat in der Brandwanne zurückblieb. Bei allen Versuchen waren nur die oberen Brandstoffschichten an der Reaktion beteiligt. In Tabelle 1.4 sind die mittleren Schichtdicken der Schmelze bei den verschiedenen Thermoplasten fixiert.

Tabelle 1.4: Mittlere Schichtdicke der geschmolzenen Plastoberfläche

Thermoplaste	mittlere Schichtdicke der Schmelze in mm
Polypropylen	6 - 10
Polyethylen	8 - 12
Polystyrol	3 - 5
Polymethylmethacrylat	2 - 4
Kautschuk	3 - 6

Geringe Schichtdicken neigten weniger zu Verwerfungen beim Löschen. Die erstarrenden Schmelzen bildeten eine kompakte, ebene Schicht. Bei Thermoplaste mit größeren Schichtdicken der Schmelze erfolgte die Abschreckung vorzugsweise im oberen Teil der Schmelze. Es entstanden erstarrte Schichten mit < 1 mm Schichtdicke. Diese Oberflächenschichten wurden durch die in der noch heißen Schmelze ablaufenden Zersetzungsvorgänge und Verdampfungen aufgetrieben. Es entstanden großflächige Aufblähungen mit darunterliegenden Gasräumen. Die abgeschreckte Oberflächenschicht verhinderte die Nachlieferung brennbarer Zersetzungsprodukte in die Flamme und war damit am Löscherfolg beteiligt.

Der Löscherfolg war garantiert, wenn die gesamte Oberfläche möglichst gleichmäßig abgeschreckt werden konnte. Eine gleichmäßige Abschreckung erforderte auch die gleichmäßige Verteilung des Löschmittels auf der Oberfläche der geschmolzenen Thermoplaste. Beim Einsatz von reinem Wasser verhinderte dessen Oberflächenspannung die

gleichmäßige Abschreckung der Fläche. Teile des Löschwassers sammelten sich an günstigen Stellen der Grenzfläche z. B. Vertiefungen. Teile des Wassers verdampften und vermochten durch die Dampfbildung Plastpartikel aus der Schmelze herauszulösen, die schließlich als Spray in der Flamme abbrannten [2].

Durch den Zusatz von Tensiden zum Löschwasser wurde die Benetzbarkeit der geschmolzenen Oberfläche wesentlich verbessert [3]. Es erfolgte ein schlagartiger Wärmeübergang (Abschreckung) und gleichzeitig wurden die entstehenden Scherkräfte durch auftreffende Wassertropfen sowie der Wasser- bzw. möglicherweise auch Brennstoffdampf durch Schaumbildung im Wassertropfen verarbeitet. Die Schaumbildung trug zur schlagartigen Benetzung einer großen Oberfläche bei und minderte die Ausbildung von Spray aus Schmelzpartikeln. Besonders gut eigneten sich Fluortenside, die aufgrund ihrer starken Grenzflächenaktivität sogar die spontane Ausbreitung eines Wasserfilms (Spreitung) auf der Brennstoffoberfläche ermöglichten. Die Ergebnisse stimmen mit den Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Benetzung von Plastoberflächen [2] überein.

2. Löschversuche an geometrisch unterschiedlichen Oberflächen

2.1 Versuchsobjekt Kleinladungsträger

2.1.1 Vorbemerkungen

Die Untersuchungen an ebenen Flächen belegen die Löschwirkung der Löschmittel Wasser, Wasser mit tensidischen Zusätzen und Schäumen bei brennenden Thermoplasten. Der Löscherfolg wird durch Reaktion an der Phasengrenzfläche zwischen Plastschmelze und dem Löschmittel erzielt, wobei im günstigsten Fall die Abschreckung der Plastschmelze an der Oberfläche bereits genügt.

Im nachfolgenden Versuchsteil soll an Hand eines komplexen Brandobjektes nachgewiesen werden, daß der Löscherfolg nur dann erreichbar ist, wenn das Löschmittel an alle geschmolzenen Plastflächen herangeführt wird. Dazu wurden als überschaubares Brandobjekt ein Stapel von Polypropylen-Kleinladungsträgern des Typs 4328 eingesetzt.

2.1.2 Versuchsdurchführung

Das für alle Polypropylenversuche eingesetzte Objekt bestand aus 6 Kleinladungsträgern. Es wurden zwei Stapel mit jeweils 3 Behältern nebeneinandergestellt. Die auf den Boden projizierte Brandfläche betrug in der Anfangsphase $0,24 \text{ m}^2$. Um bei Löschversuchen auf diesen Flächen auswertbare Meßwerte zu erzielen, darf die auf die projizierte Grundfläche bezogene Löschantensität $4 - 6 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ nicht übersteigen. Daraus ergab sich der erforderliche Volumenstrom an Löschmittel für das Brandobjekt mit $1,5 - 1 \text{ l}/\text{min}$. Unter der Bedingung, daß sowohl Wasser als auch tensidhaltiges Wasser eingesetzt werden sollte, wurde der Volumenstrom an Löschmittel mit $0,94 \text{ l}/\text{min}$ festgelegt. Der Einsatz der Löschmittel erfolgte stationär bzw. mobil.

Der stationäre Sprühstrahl wurde $0,30 \text{ m}$ oberhalb des Behälterstapels in der Mitte so angeordnet, daß die Stapelfläche beaufschlagt und möglichst wenig Löschmittel ungenutzt versprüht wurde. Der Zeitpunkt des Beginns der Löschmittelapplikation, d. h. Erreichen des Vollbrandes, wurde in einem Abbrandversuch bestimmt. Nach einer visuell festzulegenden Zeit, die durch den fortschreitenden Abbrand und die Gefahr des Umstürens der Behälter bestimmt wurde, erfolgte bei den Versuchen mit stationärer Löschmittelapplikation dann der Einsatz der stationären Sprühdüse als mobiler Sprühstrahl.

Die benutzte Sprühdüse lieferte einen Vollkegelsprühstrahl. Da zu erwarten war, daß bei der stationären Löschmittelapplikation ein wesentlicher Anteil des Löschmittels in den oberen Behältern aufgefangen wird und damit für das Löschen unwirksam ist, wurden bei zwei Versuchen jeweils 5 Löcher von 10 mm Durchmesser in der Mitte und in den Ecken der Behälter gebohrt.

Versuche, bei denen die Behälter mit vorgegebener Löschintensität und stationärer bzw. mobiler Anwendung der Löschdüse nicht gelöscht werden konnten, wurden mit einem D-Sprühstrahlrohr abgelöscht. Der Volumenstrom des D-Strahlrohres betrug 4,1 l/min. Der Einsatz des D-Sprühstrahlrohres erfolgte in jedem Fall mobil.

Neben versprühtem Wasser wurde der Einsatz von Mittelschaum zur Bodenbeschäumung und damit zur Brandbekämpfung brennend abgetropfter Polypropylenschmelzen überprüft. Der Volumenstrom an Schaummittellösung betrug 0,67 l/min. Das entspricht einer Löschintensität von 2,68 l/(min*m²).

Zur Bestimmung der Vorbrennzeit und der Abbrandrate des eingesetzten Materials wurde ein Brandversuch durchgeführt. Daraus resultierte die Festlegung der Vorbrennzeit mit 5 min, da sich zu diesem Zeitpunkt der Stapel noch in seiner ursprünglichen Anordnung befand, der Vollbrand aber schon erreicht war. In Abbildung 2.1 ist die Versuchsanordnung einschließlich der Lage der Thermoelemente dargestellt.

Die Zündung erfolgte mit 10 ml Vergaserkraftstoff in einer Brandwanne von 4 cm² Fläche.

2.1.3 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Brandverhalten

Im Fall des Brandobjektes aus Polypropylen breitete sich die Flamme unmittelbar nach der Zündung sehr schnell an den senkrechten Flächen aus. Bereits nach 30 s begann das Polypropylen brennend abzutropfen. Nach 75 s bildete die entstehende Schmelze auf der als Unterlage genutzten Holzpalette sowie auf dem nichtbrennbaren Fußboden brennende Lachen aus. Durch die brennend abtropfende Schmelze wurde die Holzpalette nicht gezündet. Die Plastschmelze umhüllte das glutbildende Material. Selbst nach Abschluß der Versuche war das Palettenholz nur an wenigen Stellen verkohlt. Glimmende Holzteile wurden erst nach dem vollständigen Abbrand der Plastschmelze beobachtet.

Durch die Vergrößerung der Oberfläche beim Auftreffen auf und infolge Dochtwirkung durch nichtschmelzbare Materialien konnte die Intensität der Verbrennung erheblich gesteigert werden.

Im konkreten Fall wurde die Abbrandgeschwindigkeit für Polypropylen unter Zugrundelegung der gemessenen Abbrandrate von 2,7 kg/min und der maximalen Fläche der Begrenzungswanne von 2,25 m² mit 1,2 kg/(m²*min) abgeschätzt. Diese Erscheinung wurde bereits in einer früheren Arbeit des IdF beim Abbrand textiler Materialien beobachtet [4]. Damit liegen die Versuchswerte im Bereich der aus der Literatur erhältlichen Angaben.

Bei Thermoplasten reichen bereits geringste Mengen an Zündmittel aus, um das Material an den Kanten zu zünden. Eine Zündung der Materialien ist auch an beliebiger Stelle denkbar. Bereits nach kurzer Flammeneinwirkung beginnt an senkrechten Flächen das Polypropylen brennend abzutropfen. Es entstehen brennende Schmelzlachen am Boden des Brandobjektes. Infolge des Abtropfens von geschmolzener Plaste werden auch kompakte Wandungen bei direkter Flammeneinwirkung örtlich sehr schnell aufgeschmolzen. Die Flammen können damit in das Innere des Brandobjektes eindringen und dort verdeckte Brände ausbilden. Die Ausbildung verdeckter Brände wird durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der Plastmaterialien begünstigt. Dadurch bleiben von der Flamme nicht betroffene Plasteile über längere Zeiträume

in ihrer Form stabil und verdecken die geschmolzenen Plastflächen, aus denen die Nachlieferung brennbarer Zersetzungsprodukte für die Flamme realisiert wird. Verdeckte Brände können sich auch ausbilden, wenn Teile des Brandobjektes erweichen, ihre Form verändern und Luftkanäle, die bei Zusammenlagerung räumlicher Gebilde immer vorhanden sind, dadurch nach oben verschlossen werden.

In den Kanälen herrschen erhebliche Auftriebsgeschwindigkeiten der brennenden Rauchgase, die im Fall des verdeckten Brandes vor allem seitlich aus den Kanälen austreten und eine direkte Löschmittelbeaufschlagung nahezu unmöglich machen.

Weiterhin wurde deutlich, daß in engen Kanälen die Ausbildung einer stabilen Flamme nicht möglich ist, weil nicht genügend Sauerstoff in diese Räume einströmen kann. In engen Kanälen werden vorzugsweise Zersetzungsprodukte in Konzentrationen oberhalb der oberen Explosionsgrenze gefördert, die beim Austritt aus solchen Kanälen zünden, was nach 120 s erstmals beobachtet werden konnte, und damit zur Brandausbreitung beitragen können.

Der Temperaturverlauf während des Abbrandversuches ist in der Abb. 2.2 dargestellt. Da alle Meßstellen innerhalb der durchgehenden Kanäle in den Behälterwandungen angebracht waren, und die Temperaturen der Thermoelemente aufgezeichnet wurden, konnte deutlich abgelesen werden, daß die Kanäle erst zu einem relativ späten Zeitpunkt von den Flammen erfaßt und aufgeschmolzen wurden.

Der Vollbrand des Stapels begann 5 min nach der Zündung. Die Behälter stürzten nach 6,5 min in sich zusammen. Zu diesem Zeitpunkt brannte die gesamte verfügbare Fläche von 2,6 m² in voller Ausdehnung.

Der Brandverlauf zeigte, daß die Brandausbreitung sich zunächst nur auf die unmittelbare Nähe der Zündquelle erstreckte. Durch das ständig abtropfende Material konnten sich stabile Flammen vorzugsweise im Bereich der Palette ausbilden. Nach der Zerstörung der Außenwand der beflamten Behälter bildeten sich im Inneren dieser Behälter stabile Flammenflächen. Diese Flammenflächen blieben infolge der geringen Wärmeleitfähigkeit des Polypropylens über einen längeren Zeitraum erhalten. Selbst während des Vollbrandes bildete der Brand keine geschlossene Fläche, sondern stellte eine Ansammlung verschieden räumlich angeordneter, isoliert voneinander brennender Flächen dar.

Die Ausbildung verdeckter Brandzonen mit genügender Zufuhr an Frischluft kann als typisches Erscheinungsbild für Brände thermoplastischer Materialien gewertet werden.

Wesentliche Schlußfolgerungen aus dem Abbrandversuch gestapelter Lagerbehälter sind:

- Bei direkter Flammeneinwirkung schmelzen die Behälterwände örtlich sehr schnell. Es bilden sich Luftzugänge zum Behälterinneren. Die Ausbildung stabiler Flammenflächen führt zu relativ abgeschlossenen verdeckten Brandflächen.
- Die verdeckten Flammenflächen bleiben auf Grund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Materials über lange Zeiträume erhalten.
- Durch das schmelzend abtropfende Polypropylen werden nichtschmelzende Stoffe abgedeckt. Die Zündung der nichtschmelzenden Stoffe kann erst nach der Verbrennung der Schmelze erfolgen. Es ist deshalb bei Bränden thermoplastischer Materialien und nichtschmelzender fester Stoffe erst zu einem späten Zeitpunkt mit der Bildung von Glut zu rechnen.

2.1.4 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Löschen

In Tabelle 2.1 sind die Ergebnisse der Löschversuche mit Sprühstrahlen unterschiedlicher Löschmittel und Mittelschaum dargestellt.

Tabelle 2.1: Ergebnisse der Löschversuche im Technikumsmaßstab

Vers. Nr.	Löschmittel	Art der Aufbringung	Applikationszeit in s	Löschzeit in s	Verbrauch in l
2	Wasser	stationär	140	130	2,19
		mobil	130		9,1) ¹
3		mobil	72	72	1,13
4	C-Tensid	stationär	150	90	2,35
		mobil	90		1,41
5		mobil	22	22	0,35
6		stationär) ¹	180	25	2,82
		mobil	50		0,78
		mobil D-Rohr	25		1,7
7	F-Tensid	stationär mobil	100	40	2,82
		mobil D-Rohr	60		0,94
			40		2,73
8		mobil	6	6	0,094
8a		mobil) ²	12	12	0,19
9	C-Tensid, Mittelschaum) ³	stationär	300	40	4,7
		Mittelschaum	340		3,8
		mobil	40		0,63
10	F-Tensid, Mittelschaum) ³	stationär	330	10	5,17
		Mittelschaum	340		3,79
		mobil	10		0,16
11		stationär	270	10	3,01
		Mittelschaum	280		3,13
		mobil	10		0,16

)1 Die verwendeten Behälter wurden mit je 5 Bohrungen versehen

)2 Die Anordnung des Versuches 8 wurde unverändert benutzt. Die Zündung erfolgte mit 20 ml Vergaserkraftstoff in einer 100 cm² Brandwanne

)3 Einsatz des Mittelschaumes als stationäre Bodenbeschäumung

Die Versuche lassen erkennen, daß der stationäre Einsatz des Löschmittels in keinem Fall zu einem Löscherfolg führte. Ursache für dieses Ergebnis ist die Ausbildung verdeckter Brandflächen innerhalb der teilweise geschmolzenen Behälter. Das Löschmittel ist bei der vorgegebenen Löschantensität nicht in der Lage, alle Brandflächen zu erreichen.

Im Fall des Einsatzes von Wasser wird durch die ungenügende Benetzbarkeit der Polypropylenflächen die Brandentwicklung nur wenig behindert. Teilweise werden an den unteren senkrechten Flächen befindliche Flammen durch das Wasser nicht erreicht, weil sich die herabrieselnden Wasserströme zu Rinnsalen einschnüren und damit nur Teile der Flächen benetzen. Es kommt schnell zum Einstürzen des Versuchsaufbaus. Bei diesem Versuch mußte das D-Sprühstrahlrohr eingesetzt werden. Durch das Löschwasser wurde, wie bereits aus den Laborversuchen bekannt, die Intensität der Verbrennung in der Anfangsphase durch die Bildung flüssiger Polypropylenaerosole erheblich gesteigert.

Tensidhaltiges Löschwasser ermöglichte die Benetzung der gesamten erreichbaren Flächen. Dadurch wurde eine Brandausbreitung verhindert. Durch die ständige Kühlung bleiben die Behälter formstabil. Verdeckte Brände können aber auch mit tensidhaltigem Wasser nur dann gelöscht werden, wenn das Löschmittel die brennende Fläche direkt erreichen kann. Bei den Versuchen war selbst durch das Bohren von 5 Löchern in die Behälterböden eine vollständige Beaufschlagung der brennenden Flächen mit tensidhaltigem Wasser nicht möglich. Eine Weiterführung der Untersuchungen mit unterschiedlichen Löschantensitäten scheint aber angebracht zu sein. Beim Einsatz von Tensiden war praktisch keine Steigerung der Brandintensität durch Verbrennung flüssiger Polypropylenteilchen in der Flamme zu verzeichnen.

Die jeweils durchgeführte mobile Restablöschung und die Versuche mit der Anwendung mobiler Sprühstrahlen zeigten, daß die gewählte Löschantensität für diese Brandfläche reale Aussagen gestattet. Bereits der Löschmittelverbrauch für die Restablöschung gab erste Hinweise auf die Effizienz der Löschmittel.

Die Löschergebnisse mit mobilem Einsatz der Löschmittel ermöglichten die direkte Beaufschlagung der brennenden Flächen mit dem Löschmittel. Bei diesen Versuchen war die Wirksamkeit der Löschmittel aufgrund der konkreten Löschanzeit bestimmbar. Die Versuche 3, 5, 8 und 8a zeigten, daß die Löschwirkung in der Reihe Wasser, Alkylsulfatlösung, AFFF-Lösung zunahm. Aus den Versuchen kann über die Löschanzeiten bzw. den Löschmittelverbrauch eine wertmäßige Abschätzung der Effizienz der Löschmittel vorgenommen werden. Setzt man die Wirksamkeit des Wassers mit dem Wert 1 an, so besaß die Alkylsulfatlösung eine um den Wert von 3,2 und AFFF-Lösung eine um den Wert von 8 höhere Wirksamkeit. Diese Einschätzungen ordnete sich im Trend in die Laborergebnisse ein. Dabei war zu beachten, daß sich mit zunehmenden Brandflächen die Unterschiede noch verringerten, der Trend jedoch erhalten blieb.

Beim Einsatz von Schaum zur Bodenbeschäumung und zum Ablöschen des abtropfenden Polypropylens wurde auf den Löscherfolg Wasser/Schaum zugunsten eines Versuches von Wasser/AFFF/Schaum mit perforierten Behälterböden verzichtet. Es zeigte sich, daß durch den Einsatz des Schaumes das abgetropfte Material sicher gelöscht werden konnte. Damit wurde die Intensität der Verbrennung wesentlich gemindert. Diese Minderung ist vor allem an den erhöhten Standzeiten der Stapel ablesbar. Es war aber nicht möglich, durch die Kombination von stationärem Sprühstrahl und Schaum einen Löscherfolg zu erzielen. Die verdeckten Brände konnten auch hier nicht gelöscht werden. Auch die Perforation der Behälterböden brachte keine besseren Ergebnisse. Der Löschmittelverbrauch bei Restablöschung zeigt aber, daß sich die verdeckten Brände nur in einem geringen Umfang erhalten konnten. Die Restablöschung war trotz fortgeschrittener Branddauer mit Alkylsulfatlösung in 40 s und mit

AFFF-Lösung in 10 s abgeschlossen. Im Vergleich zu den Versuchen ohne Bodenbeschäumung war zu erkennen, daß der Schaum beim Löschen einen Anteil von ca. 50 % erbrachte. Anders ausgedrückt bedeutet dieses, daß sich bei den Löschversuchen 50 % der verdeckten Brände im Bodenbereich, erreichbar für den sich ausbreitenden Schaum, befanden. Durch den Schaumeinsatz wurde die Möglichkeit der Rückzündung von abgeschmolzenem Material verhindert.

Aus den Löschversuchen im Technikumsmaßstab ergaben sich folgende Schlüsse:

- Die verwendete Löschintensität erbringt beim mobilen Einsatz eine sichere Löschwirkung, wenn alle verdeckten Brandstellen durch das Löschmittel erreicht werden können.
- Bei der Brandbekämpfung von Polypropylen steigt die Löschwirkung der verwendeten Löschmittel in der Reihenfolge Wasser, Alkylsulfatlösung, AFFF-Lösung an.
- Bei stationärem Löschmitteleinsatz ist ein Ablöschen verdeckter Brände innerhalb der Behälter oder Behälterstapel nur dann möglich, wenn das Löschmittel die gesamte Brandfläche erreicht.
- Der Einsatz von Schaum zur Bodenbeschäumung trägt zur Löschwirkung bei und vermindert die Brandintensität. Die Möglichkeiten der Rückzündung geschmolzenen Materials werden verringert.

2.2. Versuchsobjekt Kautschukballen

2.2.1 Vorbemerkungen

Im Mittelpunkt der Arbeiten standen folgende Schwerpunkte:

- Bewertung des Abbrandverhaltens von Kautschuk unter den Bedingungen einer Lagerung auf Holzpaletten,
- Beurteilung der Abbrandgeschwindigkeit von Kautschuk beim Abbrand an senkrechten und waagerechten Flächen mit zusätzlicher Beeinflussung durch Rückstrahlung (Abbrand in den Kanälen zwischen den Ballen),
- Einschätzung der Brandentwicklung sowie der Geschwindigkeit der Brandgase in den Kanälen,
- Überprüfung der Löschwirkung gebräuchlicher Löschmittel bei brennendem Kautschuk und
- Ableitung einer effektiven Löschtaktik für Lagerbrände bei auf Holzpaletten gelagertem Kautschuk.

2.2.2. Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden in kleinem Maßstab unter spezieller Anordnung der Kautschukproben durchgeführt.

In der ersten Versuchsreihe wurden zwei Kautschukballen mit einer Masse von je 25 kg vertikal, mit den großen Flächen gegenüberstehend, auf Palettenholz angeordnet (Abbildung.2.3). Der mittlere Abstand zwischen beiden Ballen betrug zu Beginn der Versuche jeweils 10 cm. Die Ballen wurden mit Hilfe von Metalldornen bzw. Drahtschleifen von der Rückseite her gegen Umfallen gesichert.

Der Versuchsaufbau wurde in einer Blechkammer von 4 x 4 m Grundfläche, die nach oben einen ungehinderten Austritt der Rauchgase gewährleistete, untergebracht.

Die Zündung erfolgte mit jeweils 50 ml Siedegrenzenbenzin, welches in einer Blechwanne von 10 x 20 cm Grundfläche unterhalb des Palettenholzes in den Mittelspalt zwischen den Ballen eingebracht wurde. Über den gesamten Versuchsablauf wurde die Temperatur an den in Abb. 2.3 gekennzeichneten Punkten mit Thermoelementen registriert. Gleichzeitig erfolgte eine photographische Aufzeichnung der Versuche. Zur Ermittlung der Strömungsverhältnisse in der Konvektionszone wurde kurzzeitig eine Staudruckmessung mit einem Prandtl - Rohr vorgenommen. Die Messung des Frischluftzustromes erfolgte mittels Schalenanemometer.

Zum Löschen des Brandes wurden verwendet:

- Wasser als Sprühstrahl (D - Mehrzweckstrahlrohr $p = 0,4 \text{ MPa}$)
- Mittelschaum, erzeugt mit 5 Vol.-% Zumischung eines Mehrbereichsschaummittels (Laborschäumrohr mit 1 l/min Durchsatz bei $p = 0,5 \text{ MPa}$)

In einer zweiten Versuchsreihe wurden zur Bestimmung der Abbrandkennzahlen auf einer Abbrandwaage im Brandschacht Ballenfragmente, welche durch Längstrennung von Originalballen erhältlich waren, aufgestellt. Zur Aufzeichnung des Temperaturverlaufes wurden die Ballenfragmente mit Thermoelementen versehen. Oberhalb der Ballenfragmente wurden weitere Thermoelemente im Brandschacht positioniert.

Die Zündung erfolgte wie in der ersten Versuchsreihe.

Die Masseabnahme während des Brandes wurde über drei Kraftmeßdosen registriert.

Auch diese Versuchsreihe wurde photographisch aufgezeichnet.

Die Versuchsdauer ergab sich aus der Zeitspanne bis zum Erreichen der stationären Abbrandphase, gekennzeichnet durch lineare Massenabnahme, und Aufzeichnung derselben für etwa 5 Minuten.

Die Versuche wurden durch Ablöschen mit Löschpulver beendet.

2.2.3 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Brandverhalten

Die Kautschukballen zeigten unter der ersten Versuchsanordnung bei allen 5 Versuchen analoges Abbrandverhalten.

Etwa eine Minute nach Zündung des Siedegrenzenbenzins begann der Schmelz - und Zersetzungsprozeß des Kautschuks, der sich in einem charakteristischen Wegspritzen von flüssigen Kautschuktröpfen äußerte. Nach insgesamt zwei Minuten waren die Kautschukballen bereits vollständig an den Innenflächen gezündet, es kam zum Abfließen von geschmolzenem Kautschuk. Dieser breitete sich am Boden und auf dem Palettenholz aus und trug damit erheblich zur Vergrößerung der Brandfläche bei.

Durch den flüssigen Kautschuk auf dem Palettenholz wurde dieses im wesentlichen vor weiterer Verbrennung geschützt, so daß auch nach längerer Branddauer eine stabile Luftzufuhr in den Mittelspalt gewährleistet war.

Im weiteren Verlauf kam es zu einer Verformung der Kautschukballen. In fünf von sechs Versuchen waren die Ballen an den Oberkanten zusammengesunken und verschlossen die Öffnung des Mittelspaltes nach oben. Trotzdem erfolgte über den Luftspalt des Palettenbodens weiter eine ausreichende Luftzuführung in den Mittelspalt.

Die Messung der Frischluftzufuhr in ca. 1,5 m Entfernung von der Versuchsanordnung zeigte bei mehreren Einzelmessungen eine Luftgeschwindigkeit von 2 m/s an.

Der aus der Messung des Staudruckes berechnete Wert der Strömungsgeschwindigkeit der Rauchgase war 23 m/s (82,8 km/h). Dieser Wert besitzt orientierenden Charakter, weil die Messung mit dem Prandtl - Rohr nur punktuell und kurzzeitig erfolgen konnte und Strömungsturbulenzen nicht berücksichtigt wurden.

Die Aufzeichnung des Temperaturverlaufes an den verschiedenen Stellen der Konvektionszone zeigte, daß bereits nach 2 min Brandzeit Temperaturen bis 750 °C auftreten können, die im weiteren Brandverlauf unter den Versuchsbedingungen nach 4 min bis auf 1200 °C Maximalausschlag ansteigen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.2 zusammengefaßt.

Der typische Temperaturverlauf innerhalb des Mittelspaltes ist in Abb. 2.4 dargestellt.

Tabelle 2.2 : Abbrand - und Löschversuche an Kautschukballen

Versuch Nr.	Löschmittel	Zündung Kautschuk nach s	Vollbrand Kautschuk nach s	Löschbeginn nach s	Bemerkungen
1	Wasser von oben	60	120	300	Luftströmung 2 m/s Staudruck im Spalt 9 mm keine Löschwirkung gute Rußniederschlagung
2	Wasser von oben von vorn	40	120	300	Löschen von oben ohne Erfolg Löschen im Zwischenraum schlagartig, Flammen an der Rückseite bleiben erhalten
3	Wasser D - Rohr 0,42 MPa	60	120	360	flüssiges Produkt über den Boden verteilt, Spalt oben geschlossen, Löschen von oben erfolglos, direkt in den Spalt sofortiger Erfolg
4	Schaum von oben	30	60	300	Löschen von oben nur teilweise erfolgreich (wenn Schaum in den Spalt fließt)
5	Schaum	40	90	240	Löscherfolg im Bereich des aufgebauten Schaumes bis 30 cm

Die Ballenfragmente zeigten das gleiche Verhalten bezüglich Brennbarkeit, Lachenbildung und Verformung wie in der ersten Versuchsreihe.

Die Temperaturentwicklung war abhängig von der Brandlast und der Versuchsanordnung. Unmittelbar an der Oberfläche des brennenden Kautschuks wurden während des Vollbrandes Temperaturen von 800 bis 960°C bei den stehenden Ballenteilen und 700 bis 900°C bei dem liegenden Ballenteil gemessen. Die Rück- bzw. Unterseite zeigte, unmittelbar bevor sie gezündet wurde, eine durch Konvektion erzeugte Temperatur von 150°C.

In einer Höhe von 0,83 und 1,80 m über den stehenden Ballenteilen bzw. 1,17 und 2,14 m über dem liegenden Ballenteil wurde die Rauchgastemperatur gemessen. Im ersten Versuch reichte die Flamme bis zur Höhe der Meßstelle bei 0,83 m. Die übrigen Versuche zeigten geringere Flammenhöhen. Die ermittelten Abbrandkennwerte sind in Tabelle 2.3 zusammengestellt.

Die maximalen Rauchgastemperaturen sind aus Tabelle 2.4 ersichtlich.

Abb. 2.5 gibt den Abbrand während des Versuches wieder.

Tabelle 2.3: Abbrandkennwerte von Kautschuk

Versuch Nr.	Anordnung	Brandlast in MJ/m ²	Abbrandrate in MJ*m ²	Abbrandintensität in kJ/m ² *min	Abbrandgeschwindigkeit in kg/m ² *min
1	2 Teile hochkant, mit den großen Flächen parallel gegenüberstehend	238,3	170,6	839	1,1
2	1 Teil hochkant stehend	111,0	47,0	691	0,9
3	1 Teil flach liegend	91,2	253,5	787	1,2

Tabelle 2.4: Maximaltemperaturen der Rauchgase im Brandschacht

Versuch Nr.	Anordnung	Rauchgastemperatur in°C	
		bei 0,83 (1,17) m	bei 1,80 (2,14)m
1	2 Teile hochkant, mit den großen Flächen parallel gegenüberstehend	700	600
2	1 Teil hochkant stehend	300	160
3	1 Teil flach liegend	175	150

Unter Einbeziehung der im Rahmen von Untersuchungen zu Brandentstehungsursachen an Kautschuk durch das IdF durchgeführten Versuche [5], [6] sowie der Arbeit von [7] kann eingeschätzt werden, daß Kautschuk nach der Zündung mit einem geeigneten Zündmittel sehr schnell (unter Versuchsbedingungen nach ca. 2 min) die Vollbrandphase erreicht. Es kommt zum Abfließen von flüssigem Kautschuk und zum Verspritzen von Einzeltropfen. Dabei vergrößert sich die Brandfläche durch Lachenbildung.

Der auf Paletten gelagerte Kautschuk erhält während des Brandes durch die Palettenzwischenräume ausreichend Sauerstoff, so daß es zu einer stabilen Verbrennung in den Zwischenräumen der aneinandergestellten Paletten mit Ausbildung einer gerichteten Konvektionssäule kommt. Die Konvektionssäule trägt zur Vorheizung und zum Schmelzen des Kautschuks im gesamten Kanalbereich zwischen den Paletten bei. Die Folge bei längerer

Einwirkung ist eine Verformung der Kautschukballen im oberen Bereich und damit eine Verkleinerung der Austrittsöffnungen bis hin zum völligen Verschluss der Kanäle nach oben.

Das untere Palettenholz bleibt weitestgehend erhalten, weil ein Verbrennen bzw. Verkohlen des Holzes durch flüssigen Kautschuk verhindert wird. Dieser Umstand bedingt die den Brand unterhaltende Luftzufuhr von unten.

Die bisher ermittelten Abbrandgeschwindigkeiten liegen mit maximal $1,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ etwa um 25 % niedriger als bei früheren Untersuchungen [5]. Bei diesen Untersuchungen wurden unter Zugrundelegung größerer Brandflächen Werte von $1,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ für die Abbrandgeschwindigkeit festgestellt. Setzt man diese Abbrandgeschwindigkeit, eine mittlere Abgastemperatur von $800 \text{ }^\circ\text{C}$ und eine vollständige Verbrennung voraus, so wird auf einer Fläche von 1 m^2 pro Minute ein Rauchgasvolumen von 65 m^3 freigesetzt. In Verbindung mit dem Heizwert von $42 \text{ MJ}/\text{kg}$ ist die hohe Intensität der Wärmefreisetzung von $63 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ erklärt, die am Temperaturprofil in unmittelbarer Umgebung des Versuchsaufbaues deutlich wird.

2.2.4 Visuelle Beobachtungen, Ergebnisse und Schlußfolgerungen zum Löschen

Nach 5 bis 6 Minuten wurde das jeweilige Löschmittel eingesetzt. Es zeigte sich in allen Versuchen, daß das in der ersten Variante von oben auf die Ballen aufgebrachte Löschmittel nur wenig Erfolg hatte, weil einerseits der brennende Mittelspalt teilweise schon verschlossen war und andererseits durch die austretenden Brandgase das Eindringen des Löschmittels gemindert wurde.

In der zweiten Variante wurden Wasser direkt in den Spalt von vorn eingebracht. Der Schaum wurde in Bodennähe aufgegeben, so daß er sich im Mittelspalt bis zu einer Höhe von 30 cm aufbauen konnte. Mit dieser Variante war es möglich, an den Stellen, die durch das Löschmittel unmittelbar erreicht wurden, einen schlagartigen Löscherfolg ohne Rückzündung zu erzielen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.2 enthalten.

Für den Einsatz der Löschmittel kann festgestellt werden, daß jedes Löschmittel brennenden Kautschuk sicher löscht. Bedingung dabei ist, daß die Löschmittel direkt an den Brandherd, also an die brennende Oberfläche des Kautschuks, gebracht werden können.

Bei den durchgeführten Versuchen gelang es nicht, durch Aufgabe des Löschmittels von oben, den Brand zu löschen. Nur gezieltes Einbringen des Löschmittels in den Zwischenraum führte zum Erfolg. Daraus leitet sich ab, daß die Wahl des Löschmittels vorzugsweise durch taktische Gründe bestimmt wird.

2.3. Weitere Ergebnisse von Löschanversuchen mit Thermoplaste

In der Arbeit von PLESZ und FISCHER [8] wurden Löschanversuche mit Handfeuerlöschern der Typen W 10 H, PG 6 und CB 2L auf einer Fläche von $0,95 \text{ m}^2$ mit Polypropylenbandverschnitten durchgeführt. Die Höhe des Brandmediums betrug 0,6 m. Als Vorbrennzeit wurde an Hand der Abbrandversuche eine Zeit von 5 min festgelegt. Beim Ablöschen des Brandobjektes wurden für die einzelnen Handfeuerlöscher folgende Löschanzeiten gemessen:

W 10 H $t_{\text{Lösch}} = 9 \text{ s}$

CB 2L $t_{\text{Lösch}} = 5 \text{ s}$

PG 6 $t_{\text{Lösch}} = 14 \text{ s}$

Beim Löschversuch zeigte es sich, daß insbesondere beim Einsatz des Löschpulvers durch die stark zerklüftete Oberfläche des Materials keine sofortige Löschwirkung erreicht werden konnte. Mit Wasser dagegen konnten gute Ergebnisse erzielt werden.

Die Löschwirkung von Sprühstrahlen, Mittel- und Leichtschaum wurde nacheinander an einem Brandobjekt von 100 m^2 untersucht. Auf dieser Fläche wurden 4 t Polypropylengranulat mit einer Schichthöhe von ca. 0,15 - 0,2 m gleichmäßig verteilt. Die Zündung der Brandfläche erfolgte mit Siedegrenzenbenzin. Nach 30 min Vorbrennzeit hatte der Brand seine maximale Intensität erreicht. Damit können die Ergebnisse bei der Brandbekämpfung mit Sicherheit auf reale Brände mit ebenen Oberflächen übertragen werden. In Tabelle 2.5 sind die Ergebnisse der Löschversuche zusammengefaßt.

Tabelle 2.5: Ergebnisse der Löschversuche an ebenen Polypropylenflächen

Parameter	Parameter für:		
	Sprühstrahl	Mittelschaum	Leichtschaum
Strahlrohr	CM-P	MSR 20/100	LSG 4/400 T
Volumenstrom in l/min	450	170	340
Brandfläche in m ²	100	100	100
Löschzeit in s	20	94	110
Löschmittelverbrauch in l	150	290	500
Löschintensität in l/(min*m ²)	4,5	1,85	2,72
Löscheffektivität in m ² /(l*min)	2	0,22	0,11

Die Löschversuche belegten, daß die verwendeten Löschmittel für die Brandbekämpfung flächiger Polypropylenbrände geeignet sind. Die wesentlichen Unterschiede zwischen der Anwendung der Sprühstrahlen und den Schaumlöschverfahren lagen in der Art der Applikation des Löschmittels. Während der Sprühstrahl flächig auf den Brandherd appliziert werden konnte und damit von vornherein eine wesentlich größere Fläche mit dem Löschmittel in Berührung kam, mußte beim Schaumlöschverfahren der erzeugte Schaum von einer Aufgabestelle über die Brandfläche fließen. Dieser Vorgang erforderte Zeit und war von der Oberfläche des Brandstoffes sowie vom Fließwinkel des Schaumes abhängig [9]. Damit sind die Schaumlöschverfahren bei geschmolzenen ebenen Thermoplastflächen deutlich dem Wasserlöschverfahren (Sprühstrahl) unterlegen. Es ist aber trotzdem anzumerken, daß einerseits auf den mit Schaum bedeckten Flächen eine Rückzündung unmöglich und andererseits beim Einsatz des Sprühstrahles das taktische Geschick des Feuerwehrmannes am Strahlrohr bedeutend zum effizienten Einsatz des Löschmittels beiträgt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen fügen sich in die bisher durchgeführten Arbeiten zur Festlegung einer konstanten Löschintensität für die unterschiedlichen Löschverfahren ein [10]. Die Tabelle 2.6 enthält die aus praktischen Versuchen, Brandberichten sowie Literaturwerten gemittelten und mit einem Sicherheitsfaktor versehenen konstanten Löschintensitäten für projizierte ebene Brandflächen ohne Berücksichtigung der vorhandenen Brandlasten.

Tabelle 2.6: Löschintensitäten für Wasser- und Schaumlöschverfahren

Brandstoff	Löschintensität in l/(m ² *min)					
	Wasserlöschverfahren			Schaumlöschverfahren		
	I _{Sn.Sch}	I _{Sn}	I _{Vollstr}	I _{Ss}	I _{Ms}	I _{Ls}
Brandklasse A)1	6	8	10		2	2
Brandklasse B						
Thermoplaste	4	6	8		1	1 bzw. 2*
brennbare Flüssigkeiten				8	4	2

)1 z.B. Holz, Kohle, Papier, Stroh, Duroplaste, Zellulose, verarbeiteter Kautschuk

* gilt für PUR-Weichschäume

Indizes:

Sp = Sprühstrahl, Sp Sch = Sprühstrahl mit Schaummittel,

Vollstr. = Vollstrahl,

Ss = Schwerschaum, Ms = Mittelschaum, Ls = Leichtschaum

3. Zusammenfassung

Die durchgeführten Löschversuche an repräsentativen, häufig verwendeten Thermoplasten zeigen, daß die Polyolefine Polypropylen und Polyethylen als Modellsubstanzen für Löschversuche verwendet werden können. Die mit diesen Verbindungen erzielten Löschergebnisse können für die gesamte Stoffgruppe verallgemeinert werden.

Ebene Brandflächen von Thermoplasten sind mit den praktisch auch für andere brennbare Stoffe überprüften Löschintensitäten löschar. Die Löschwirkung nimmt in der Reihenfolge

- Sprühstrahl mit reinem Wasser,
- Sprühstrahl mit Mehrbereichsschaummittel (C-Tensid),
- Sprühstrahl mit filmbildendem Schaummittel (F-Tensid)

zu. Bei reinem Löschwasser ist insbesondere bei Polyolefinen mit Verspritzen von Partikeln aus der Schmelze zu rechnen, die in der Flamme als Spray verbrennen und die Raumtemperatur unmittelbar beim Löschvorgang erheblich steigern können. Lösungen mit Zusätzen benetzen die Oberfläche gleichmäßig z. T. unter Ausbildung von Schaumblasen. Es erfolgt bei ausreichender Löschintensität eine schlagartige Abkühlung der Oberfläche (Abschreckung).

Geometrische Körper aus Thermoplaste bilden nach kurzer Branddauer verdeckte Brandflächen aus, die ungeschmolzene Thermoplaste schützen. Da die Löschwirkung an der geschmolzenen Plastoberfläche stattfindet, muß das Löschwasser an die verdeckten Brandflächen herangeführt werden.

Eine Löschwirkung durch starre Löscheinrichtungen (z.B. stationäre Löschanlagen mit Wasser) ist nur an den Brandflächen möglich, die das Wasser erreicht. Oberflächenaktive Substanzen (Mehrbereichs- und AFFF-Schaummittel) können infolge Benetzung der Oberflächen bessere Löschwirkung erzielen und eine Brandausbreitung verhindern, jedoch ist der Löscherfolg an die Beaufschlagung aller brennenden Oberflächen gebunden.

Mit mobilen Löscheinrichtungen können verdeckte Brände abgelöscht werden. Die Löschtaktik muß auf das Erreichen der verdeckten Brandflächen ausgerichtet werden.

4. Literatur:

- [1] PLEß, G. Beurteilung von Thermoplaste bei der mobilen
Brandbekämpfung, Literaturstudie
Institut der Feuerwehr, Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge,
Dezember 1993, Bericht-Nr. 306

- [2] PLEß, G:
SELIGER, U. Taktik des mobilen Löscheinsatzes bei Thermoplaste
Teil 1: Beurteilung der Phasengrenzfläche und Löschversuche
an ebenen Flächen
Institut der Feuerwehr Sachsen - Anhalt, Heyrothsberge,
März 1994

- [3] PLEß, G.
SAKOWSKI, K. Videofilm Löschversuche an Thermoplaste, Versuche mit
Einzeltropfen
Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge 1994

- [4] PLEß, G. Brandverhalten von Textilien
Unser Brandschutz, Wissenschaftlich technische Beilage,
Berlin, 22 (1972) 5

- [5] STEINBACH, K.
PLEß, G. Gutachten zur Ermittlung der Brandausbreitung, des
Abbrandes und der Rauchgaserscheinungen von Kautschuk
unter Berücksichtigung der am 09.06.1986 herrschenden
Technologie im Trockner Süd der Kautschukaufbereitung D92
Institut der Feuerwehr, September 1986

- [6] STEINBACH, K.
PLEß, G. Gutachten über die Gefährdung der Brandsicherheit im
Produktionsgebäude D92 des Kombinates VEB Chemische
Werke Buna
Institut der Feuerwehr, Januar 1987

- [7] TIMAR'GENG, I. Brandgefährlichkeit der in der Gummiindustrie verwendeten
Kautschuk - Grundstoffe und Halbzeuge
Vortrag des Leiters der CORDIATIC - Gummiwerke, UVR,
gehalten zur Brandschutzkonferenz soz. Länder 1982

- [8] PLEß, G.
FISCHER, H.G. Brand- und Löschversuche an Polypropylen
im Freien
IdF-Bericht 1979, 18 S., 6 Lit., 3 Tab.,

- [9] KRETZSCHMAR, A. Beschäumung von Räumen
Brandschutz, Explosionsschutz - Aus Forschung und Praxis
Berlin, Staatsverlag der DDR, (1983)9, S. 6 - 12
- [10] KRETZSCHMAR, A. Moderne Löschverfahren und Möglichkeiten ihrer
Anwendung
PLEß, G. Brandschutz, Explosionsschutz - Aus Forschung und Praxis,
LUBOSCH, E. Berlin, Staatsverlag der DDR (1985) 12, S. 104 - 113

Abbildungen

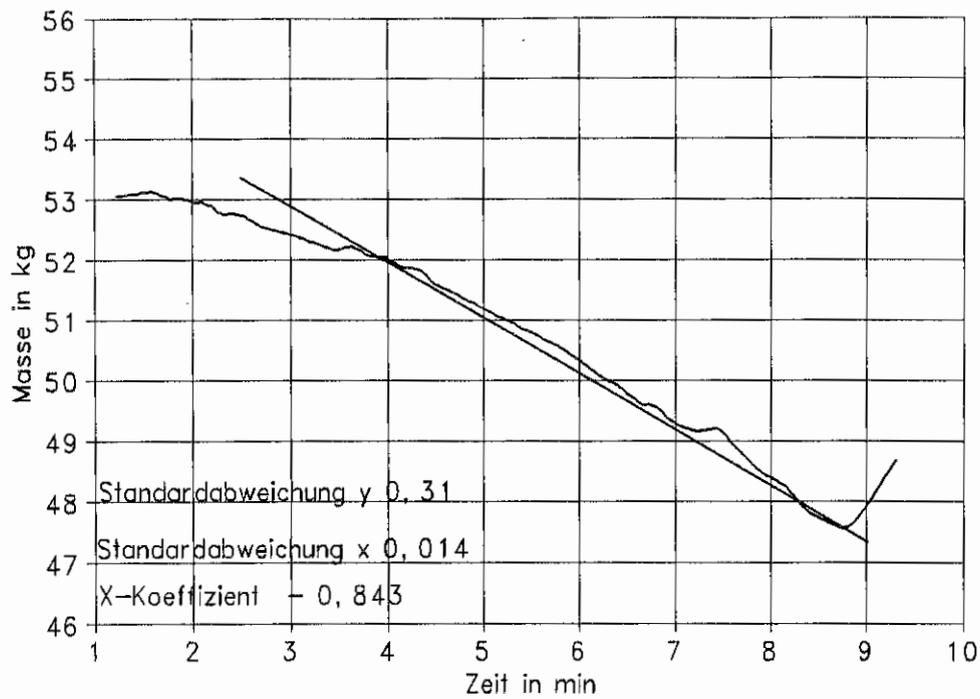


Abbildung 1.1: Mittlerer Masseabbrand bei Kautschuk

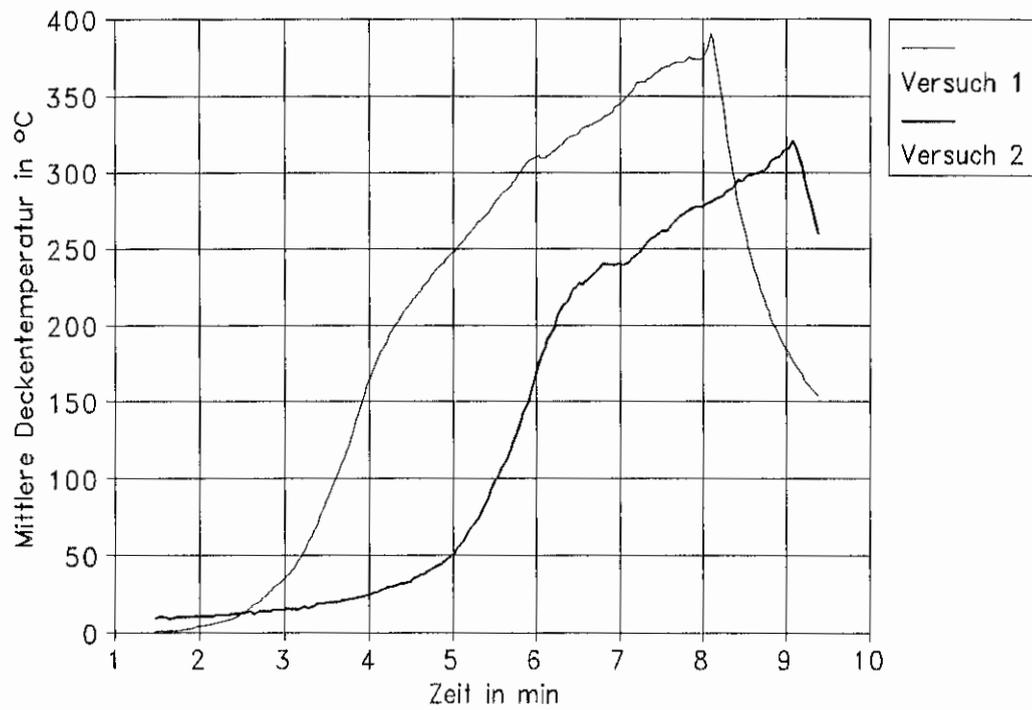


Abbildung 1.2: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Kautschuk
Löschversuche mit Wasser

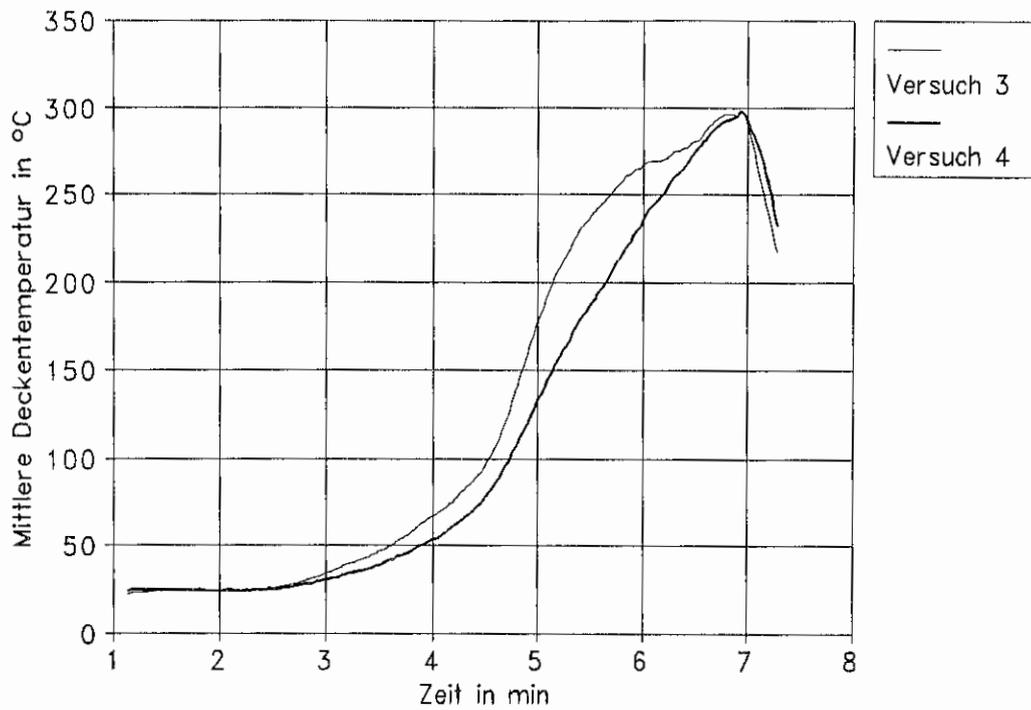


Abbildung 1.3: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Kautschuk Löschversuche mit Kohlenstoffensidlösung

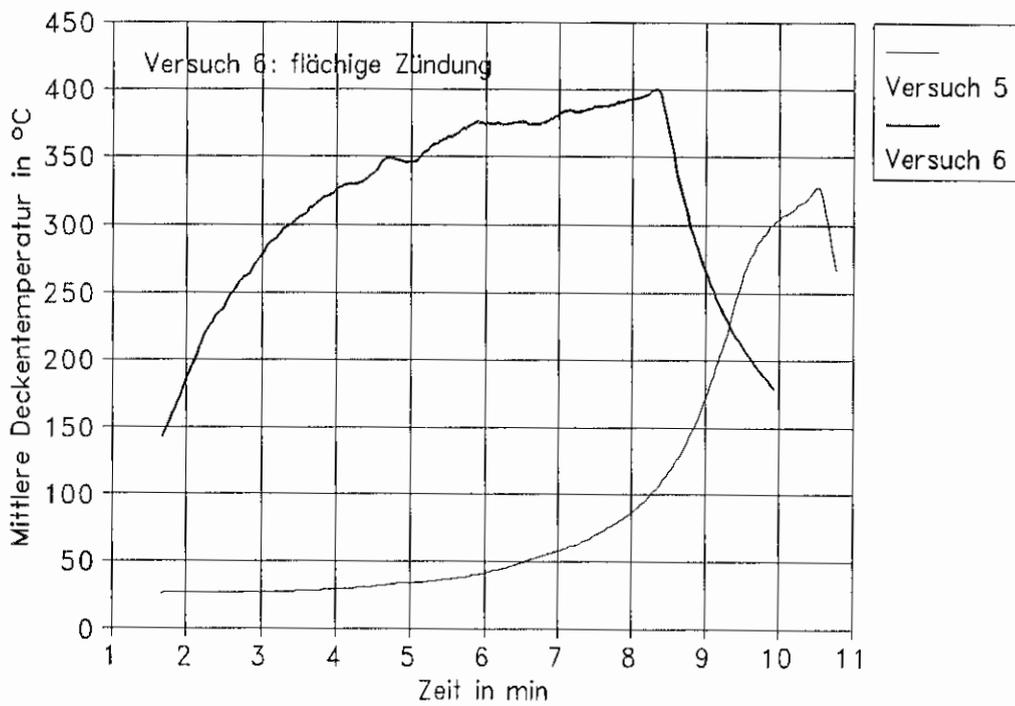


Abbildung 1.4: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Kautschuk Löschversuche mit Fluortensidensidlösung

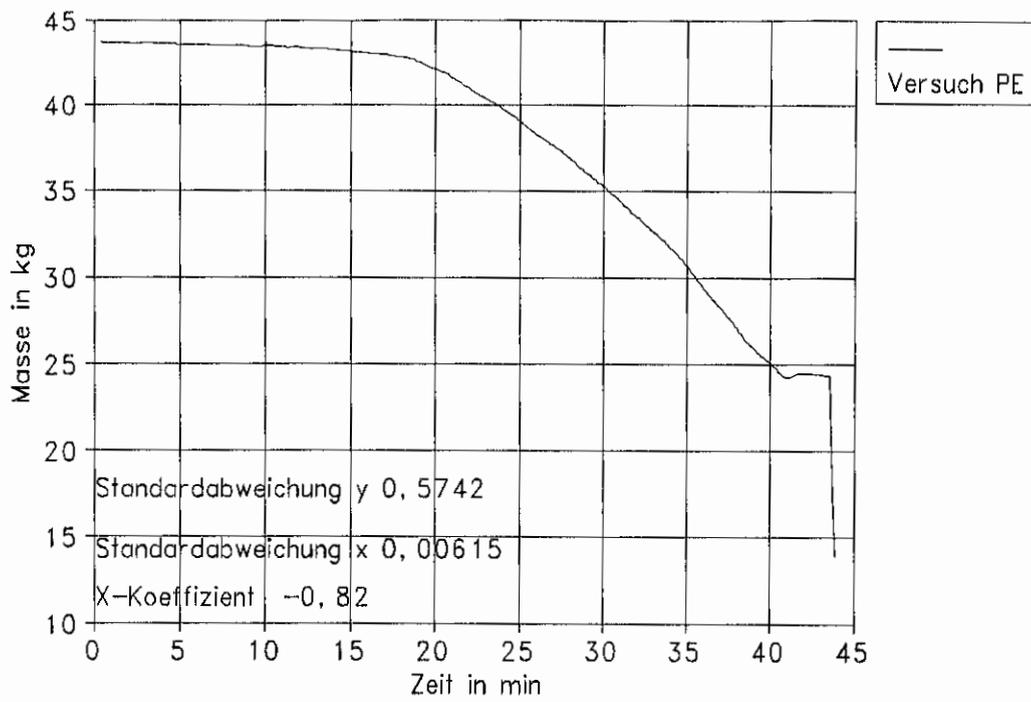


Abbildung 1.5: Mittlerer Masseabbrand bei Polyethylen

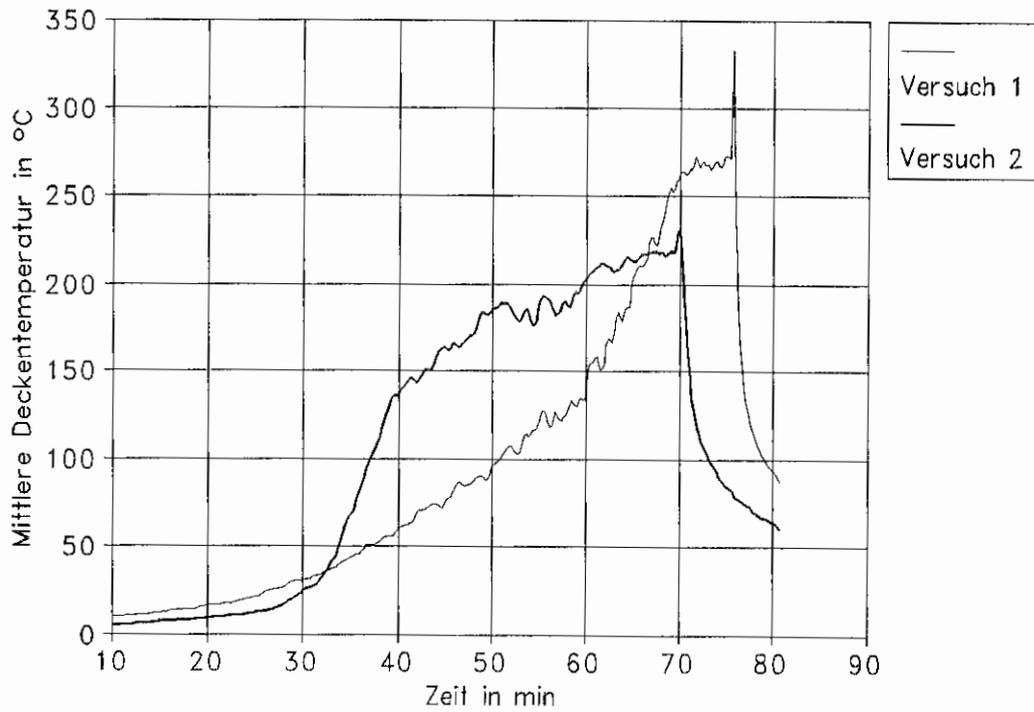


Abbildung 1.6: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polyethylen Lösversuche mit Wasser

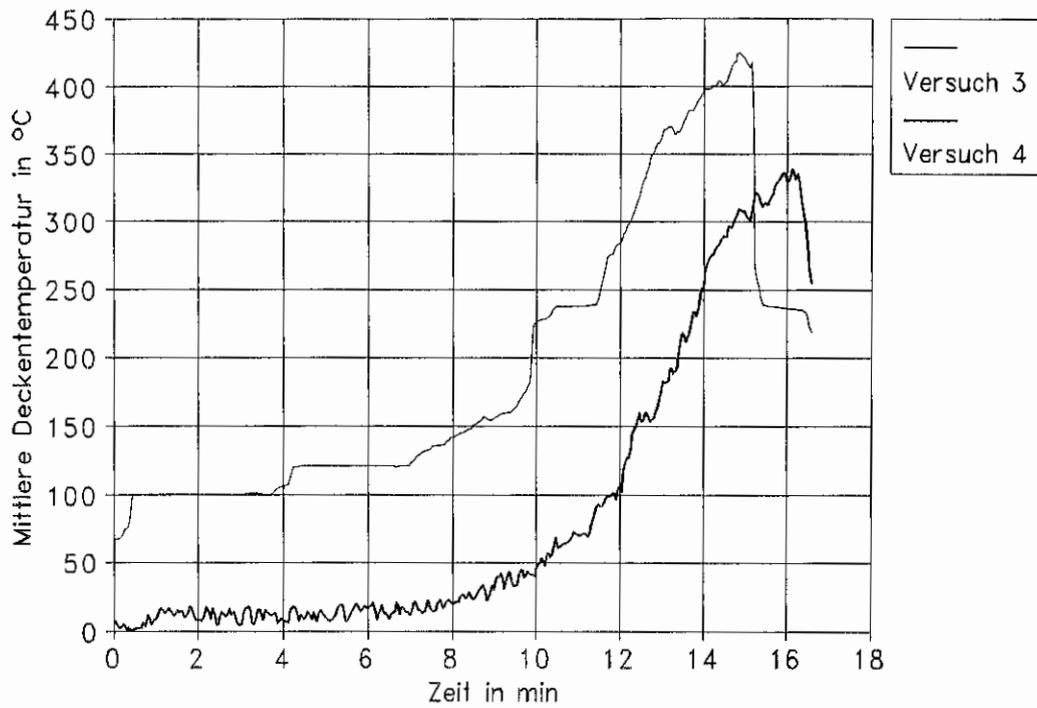


Abbildung 1.7: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polyethylen Löschversuche mit Kohlenstoffensidlösung

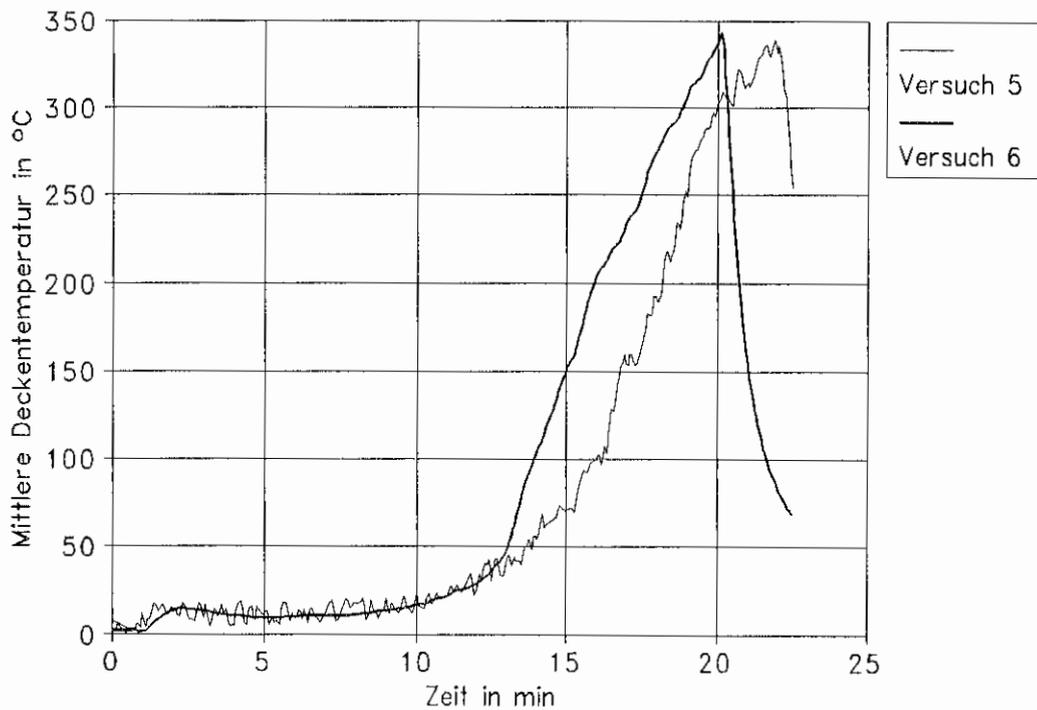


Abbildung 1.8: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polyethylen Löschversuche mit Fluortensidensidlösung

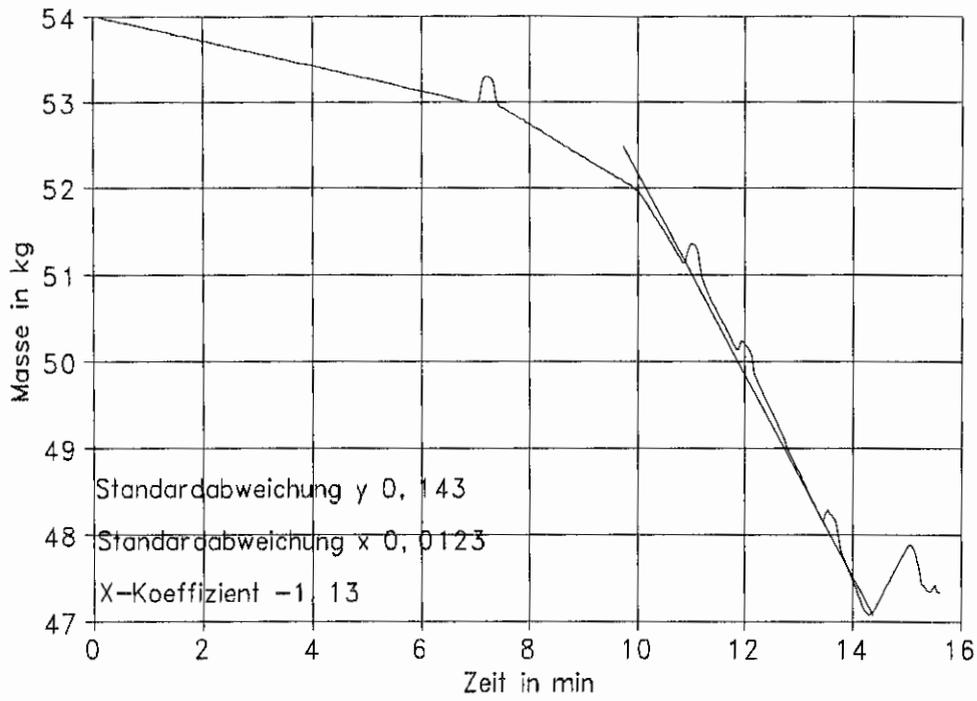


Abbildung 1.9: Mittlerer Masseabbrand bei Polymethylmethacrylat

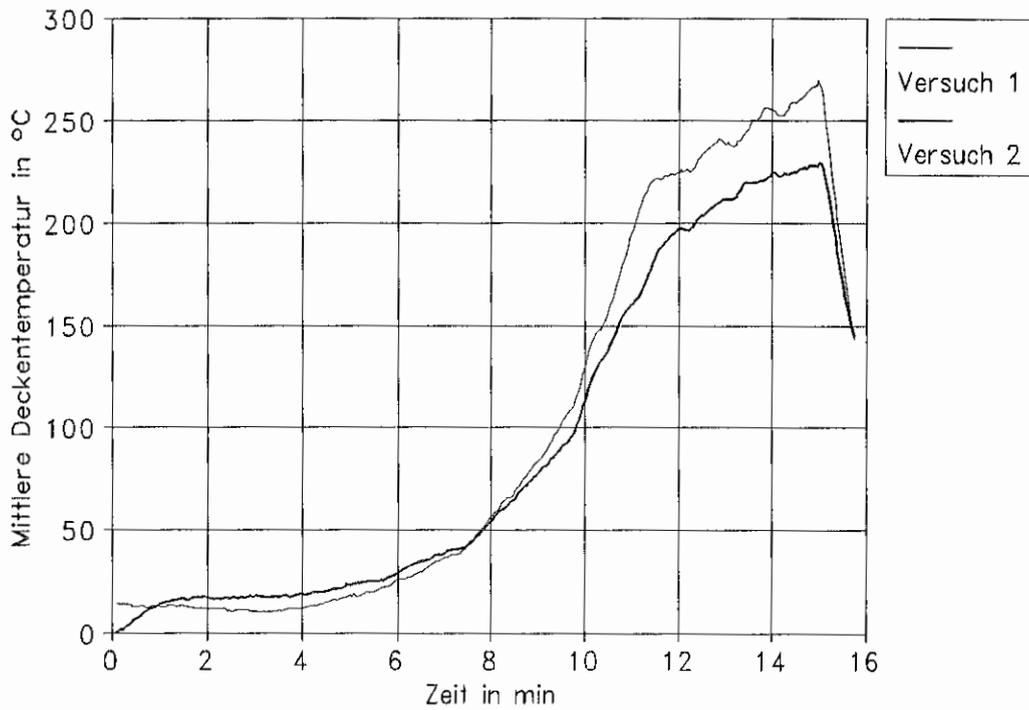


Abbildung 1.10: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polymethylmethacrylat Lösversuche mit Wasser

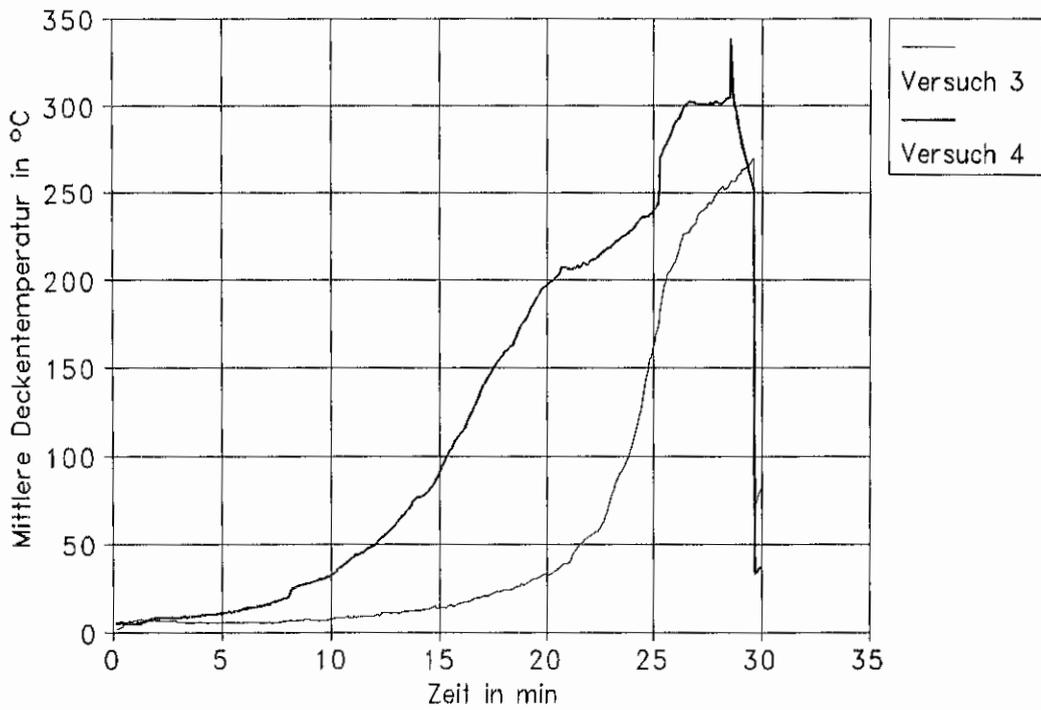


Abbildung 1.11: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polymethylmethacrylat Löschversuche mit Kohlenstoffensidlösung

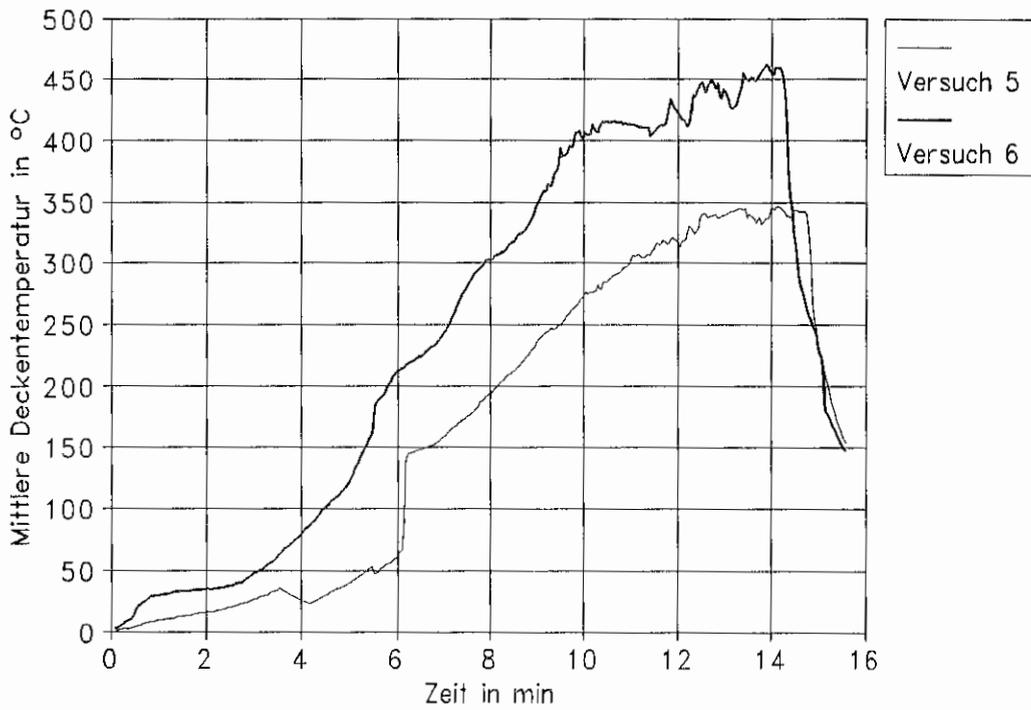


Abbildung 1.12: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polymethylmethacrylat Löschversuche mit Fluortensidtlösung

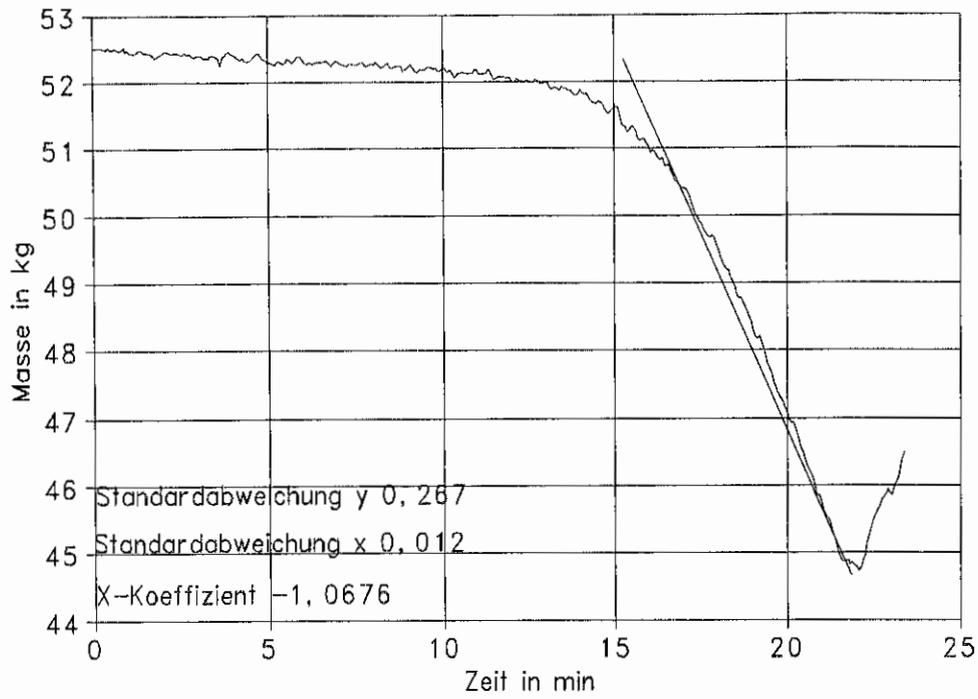


Abbildung 1.13: Mittlerer Masseabbrand bei Polypropylen

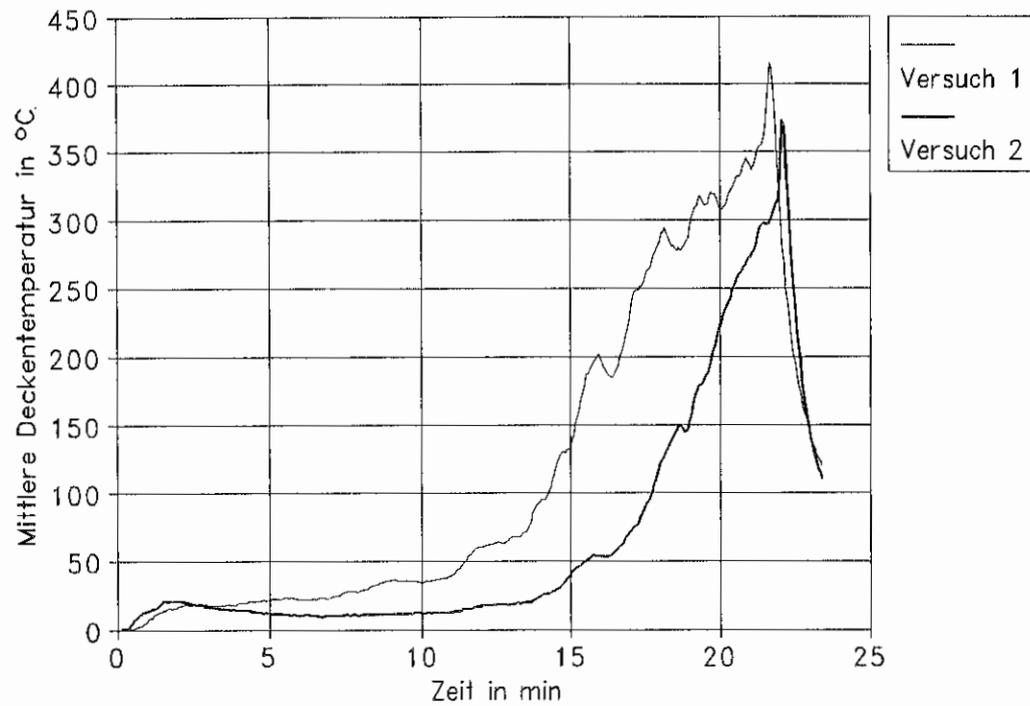


Abbildung 1.14: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polypropylen
Löschversuche mit Wasser

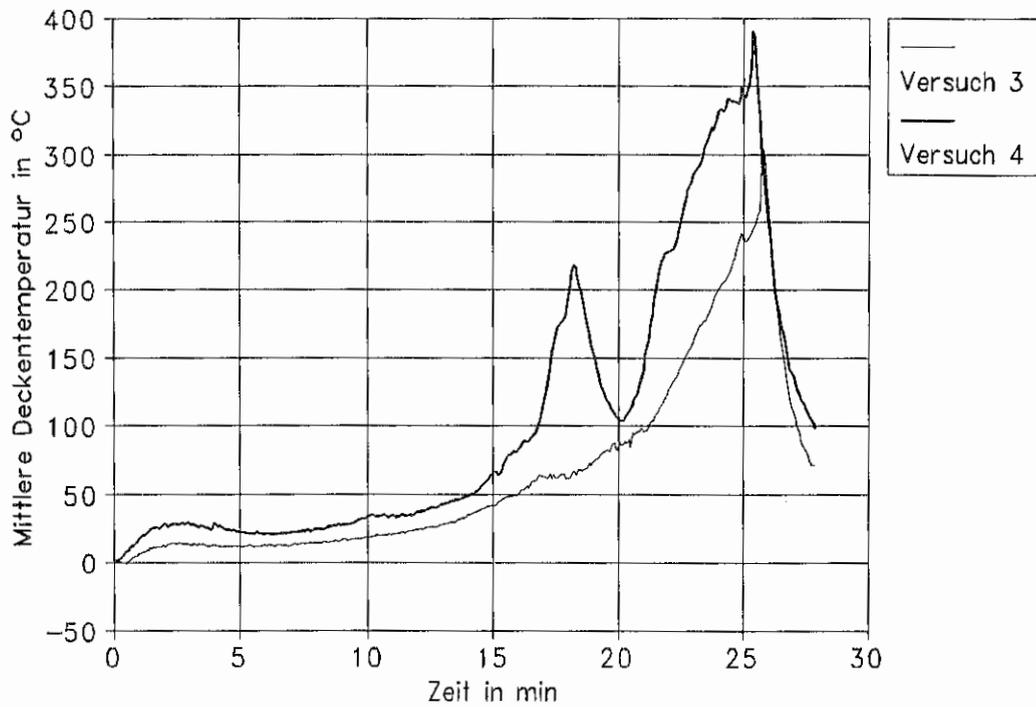


Abbildung 1.15: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polypropylen Löschversuche mit Kohlenstoffensidlösung

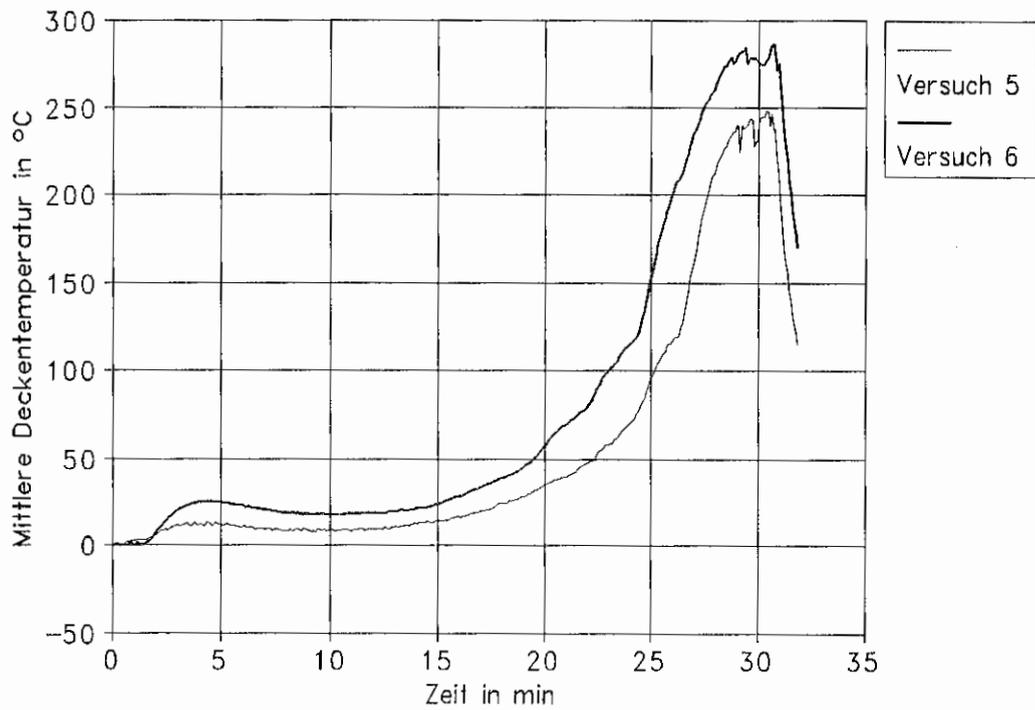


Abbildung 1.16: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polypropylen Löschversuche mit Fluortensidensidlösung

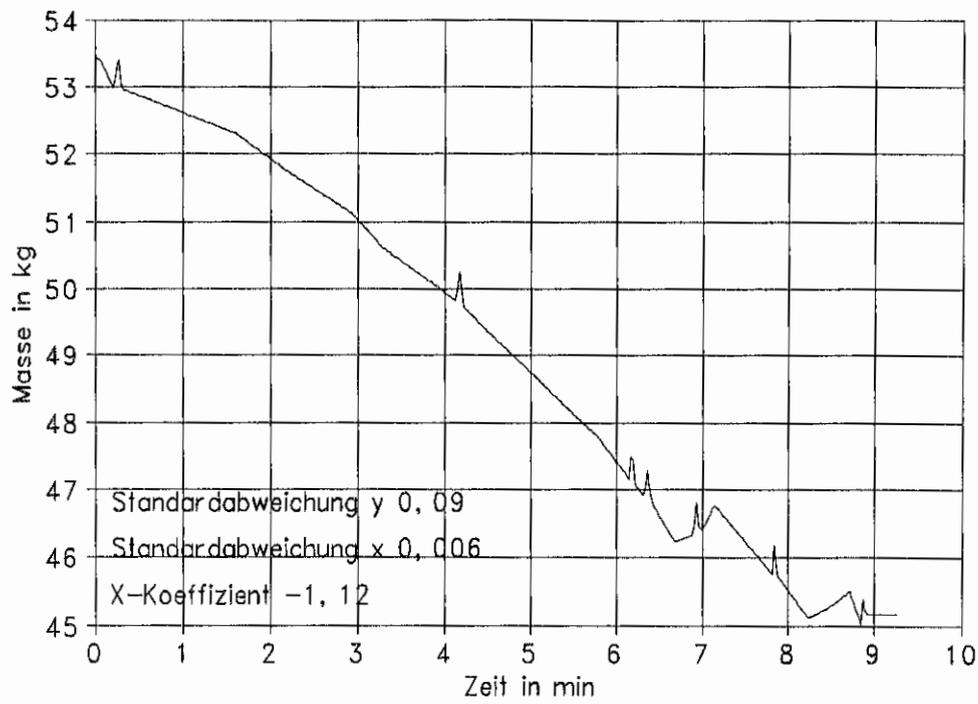


Abbildung 1.17: Mittlerer Masseabbrand bei Polystyrol

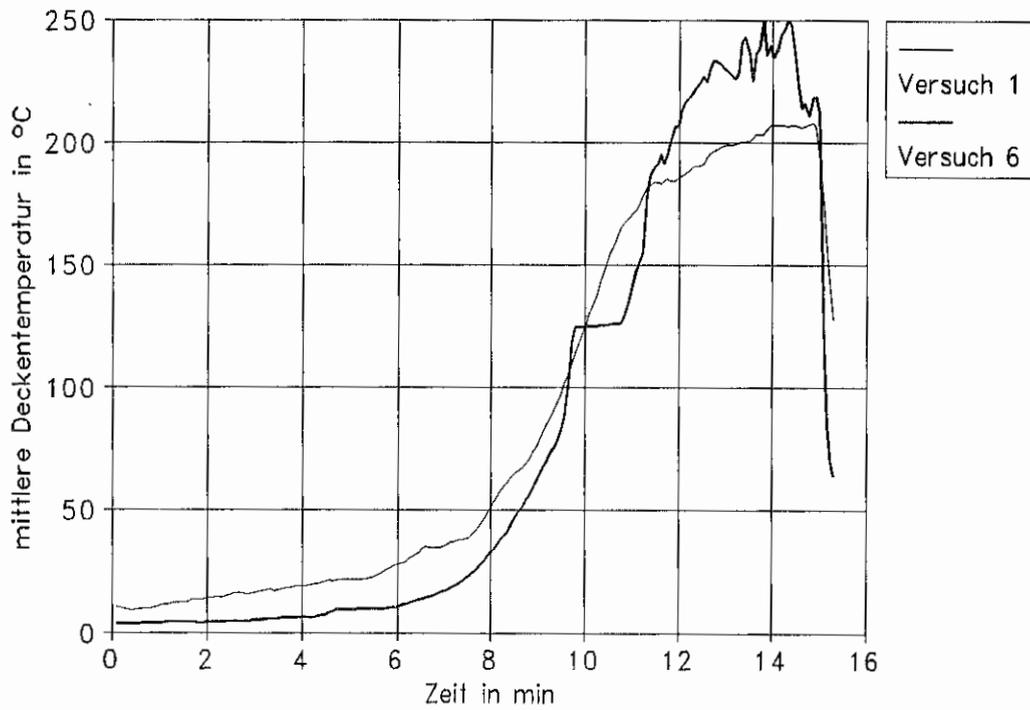


Abbildung 1.18: Mittlere Deckentemperatur im Brandraum bei Polystyrol
Löschversuch mit Wasser und mit Fluortensidtlösung

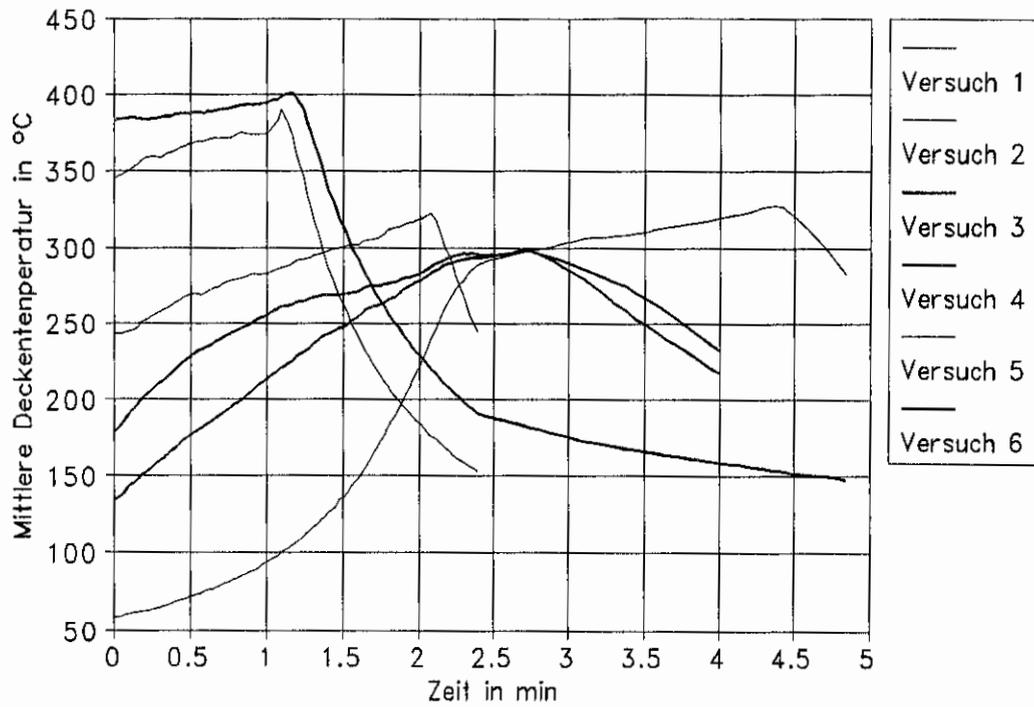


Abbildung 1.19: Temperaturverlauf beim Einsatz der Löschmittel Kautschukversuche

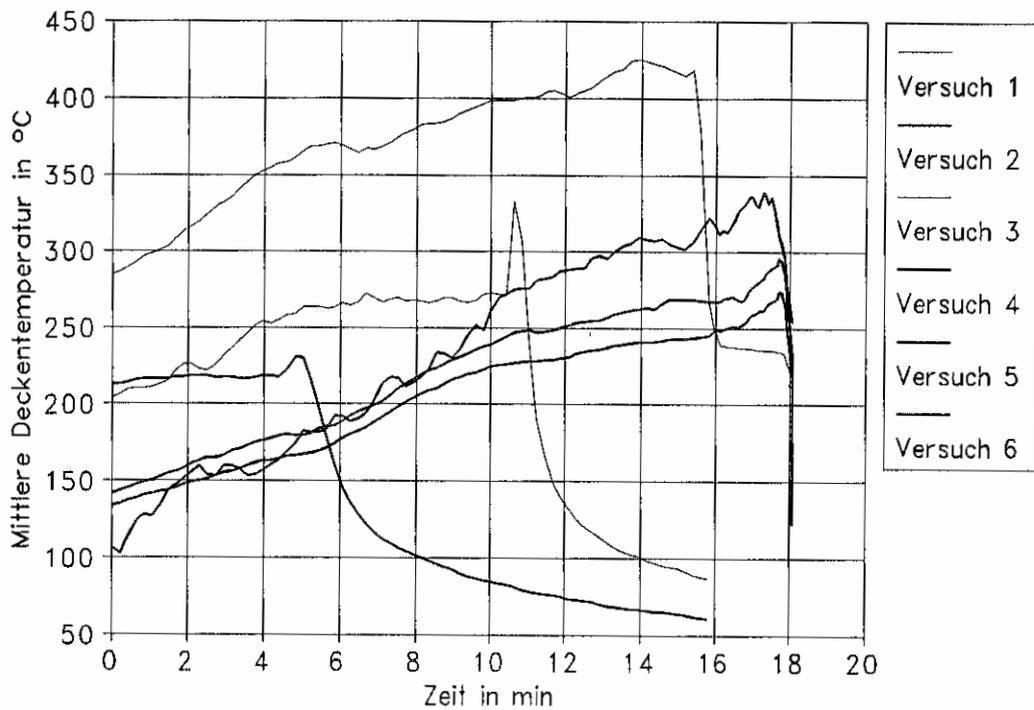


Abbildung 1.20: Temperaturverlauf beim Einsatz der Löschmittel Polyethylenversuche

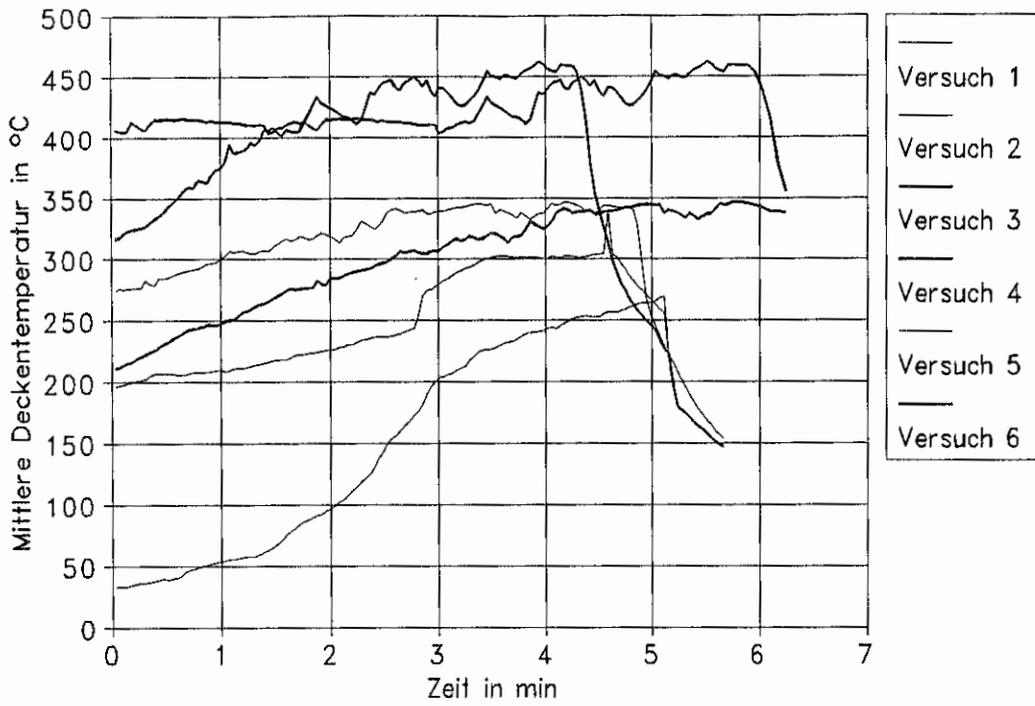


Abbildung 1.21: Temperaturverlauf beim Einsatz der Löschmittel
PMMA-Versuche

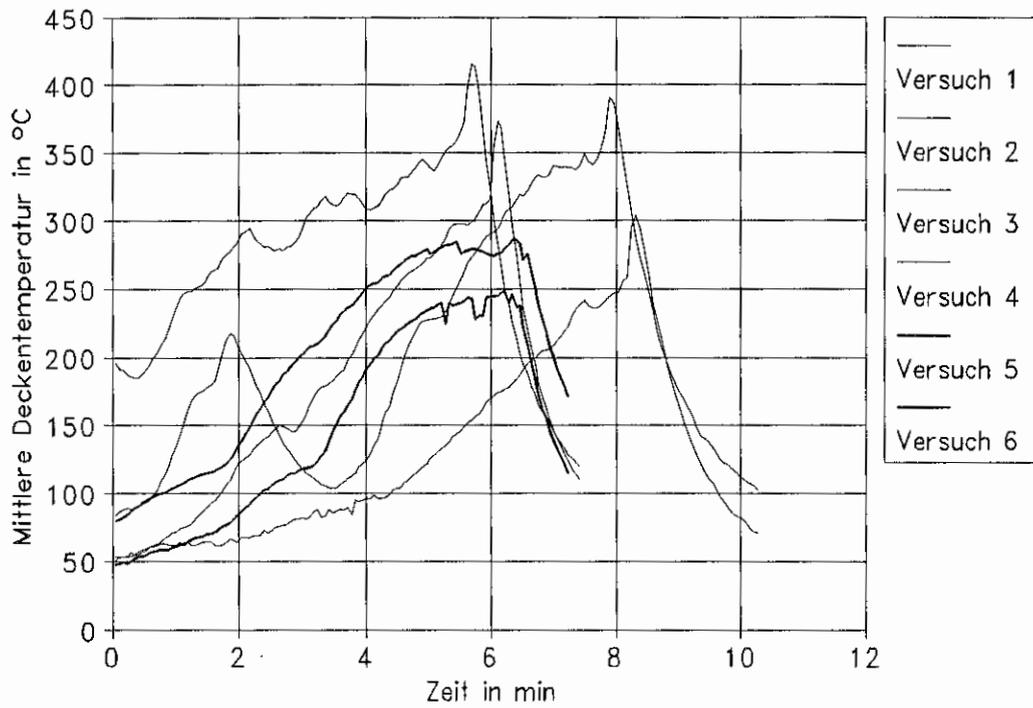


Abbildung 1.22: Temperaturverlauf beim Einsatz der Löschmittel
Polypropylenversuche

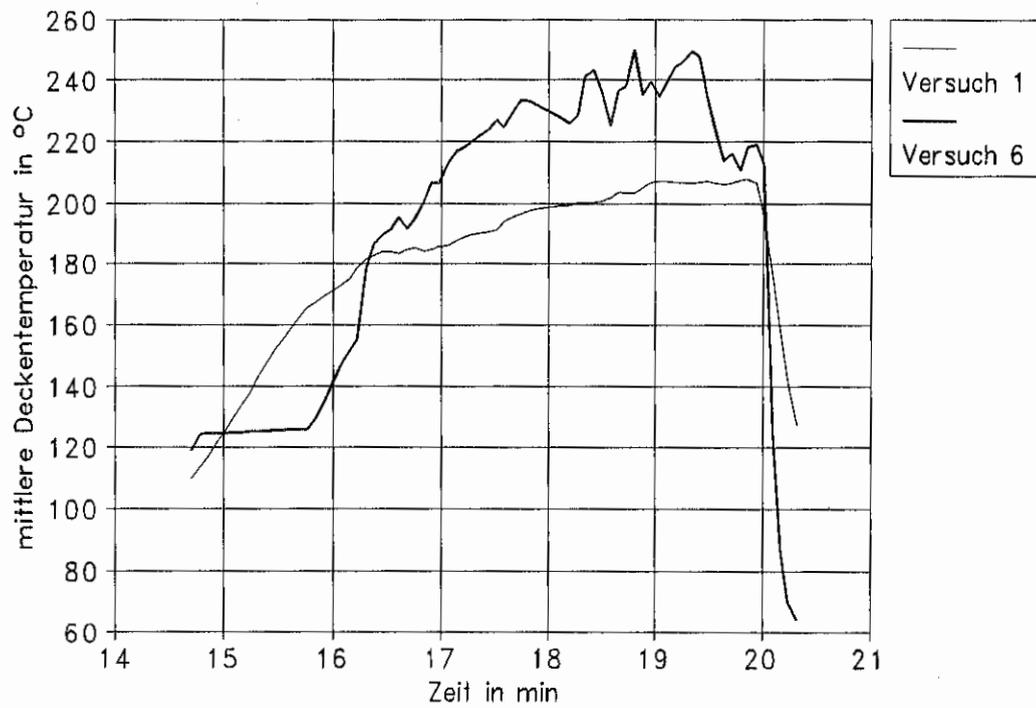


Abbildung 1.23: Temperaturverlauf beim Einsatz der Löschmittel
Polystyrolversuche

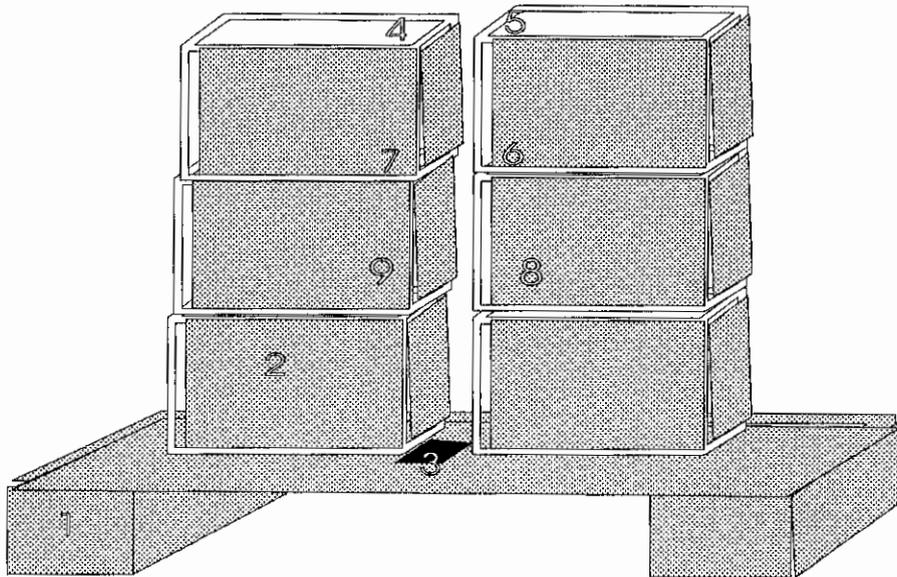


Abbildung 2.1: Versuchsanordnung einschließlich der Lage der
Thermoelmente

- | | | | |
|---|-------------|-------------|--------------------|
| 1 | Holzpalette | 2 | Kleinladungsträger |
| 3 | Zündwanne | 4,5,6,7,8,9 | Thermoelmente |

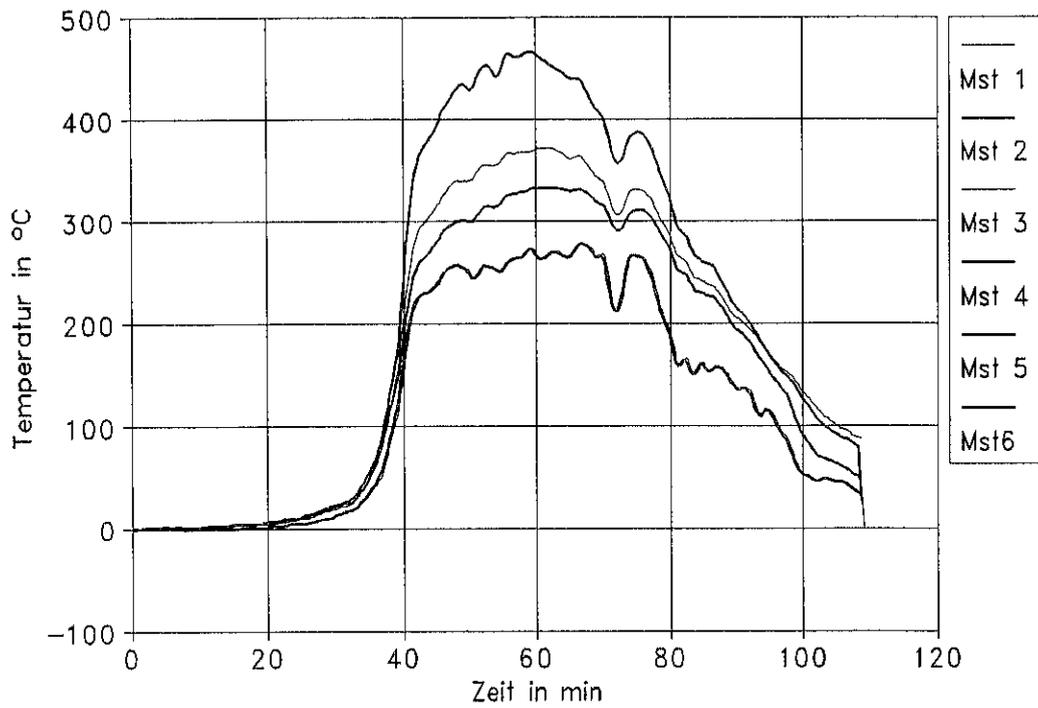


Abbildung 2.2: Temperaturverlauf während eines Abbrandversuchs

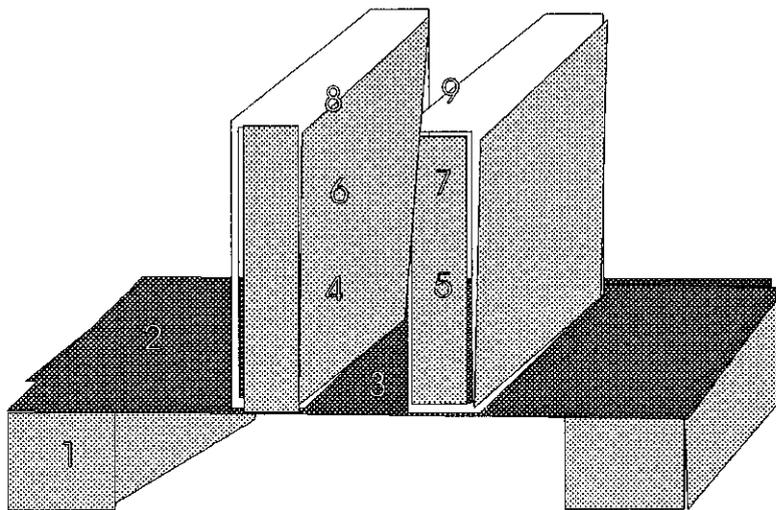


Abbildung 2.3: Kautschukballen mit einer Masse von je 25 kg, vertikal, mit den großen Flächen gegenüberstehend

- | | | | |
|---|----------------------|-------------|----------------|
| 1 | Palette | 2 | Palettenfläche |
| 3 | Mittelspalt; Zündung | 4,5,6,7,8,9 | Thermoelemente |

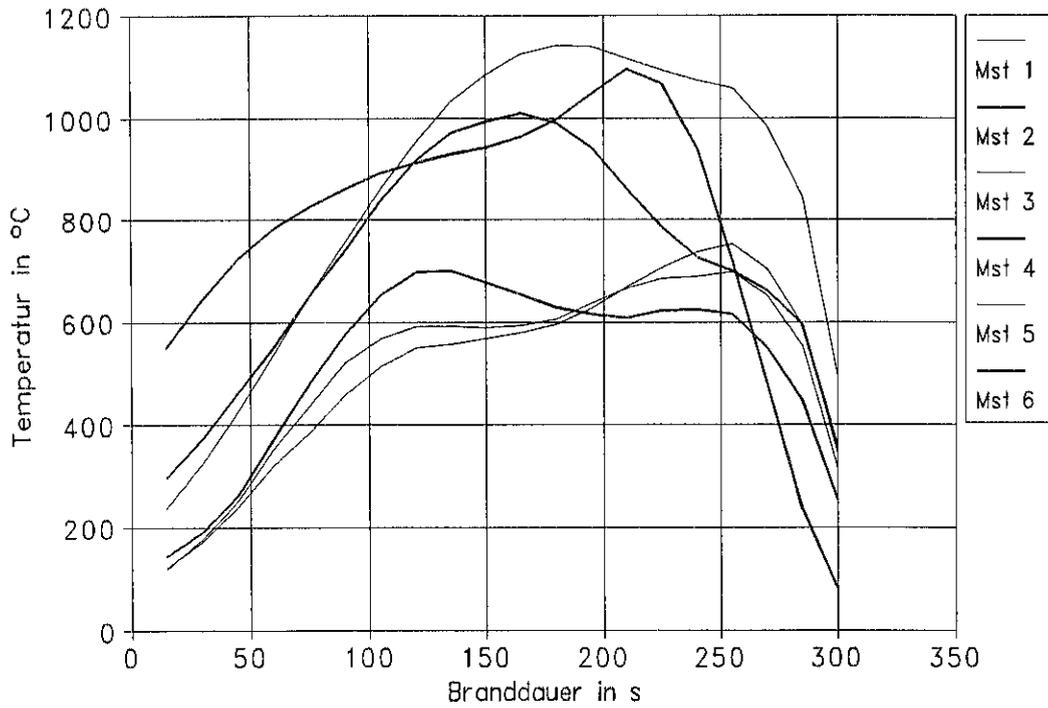


Abbildung 2.4: Temperaturverlauf innerhalb des Mittelspaltes

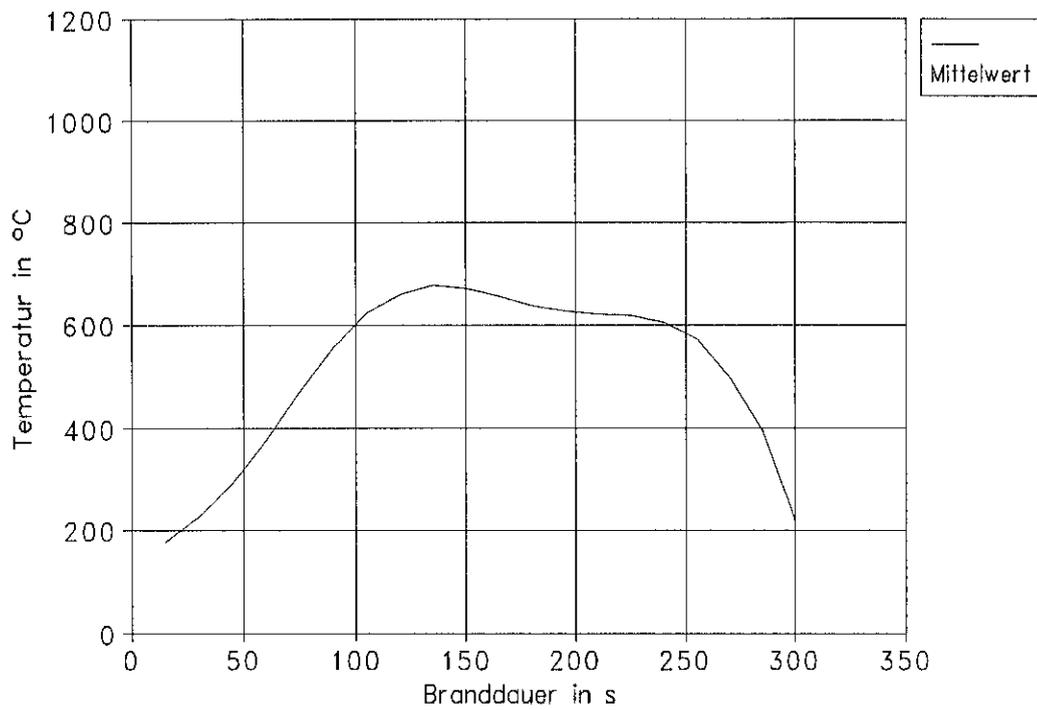


Abbildung 2.5: Mittelwert der Temperatur im Mittelspalt

Bildanlage

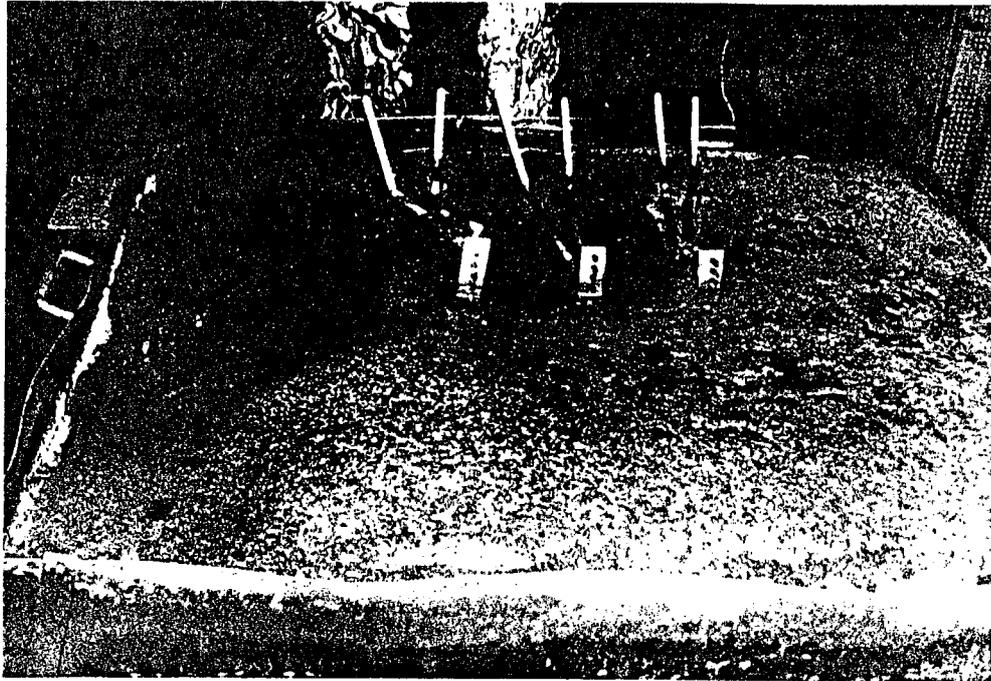


Bild 1: Polypropylenoberfläche nach dem Löschversuch

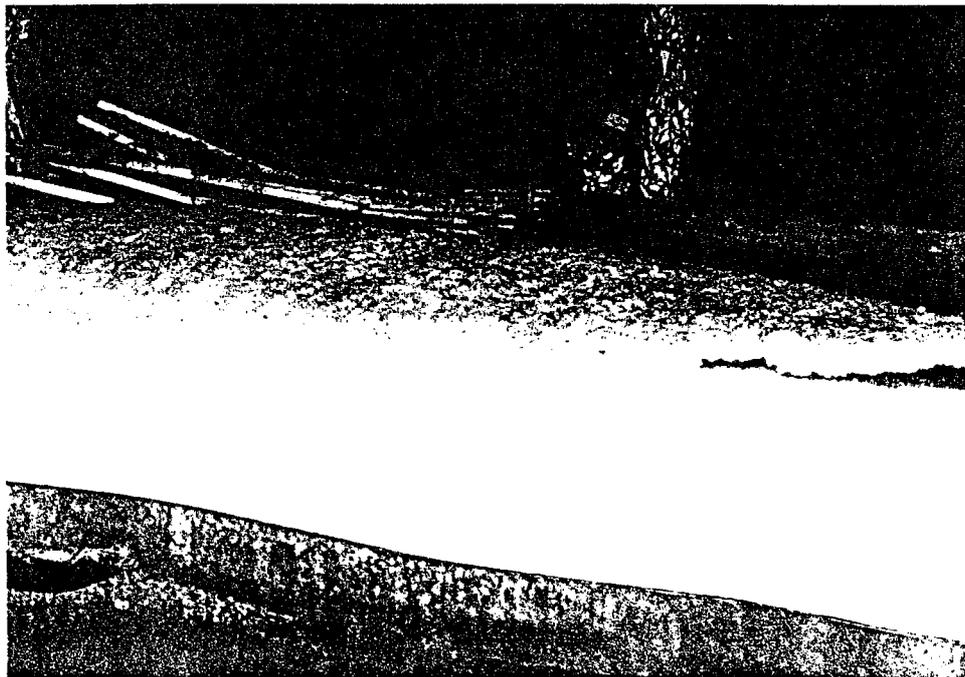


Bild 2: Polypropylenoberfläche, quer geschnitten

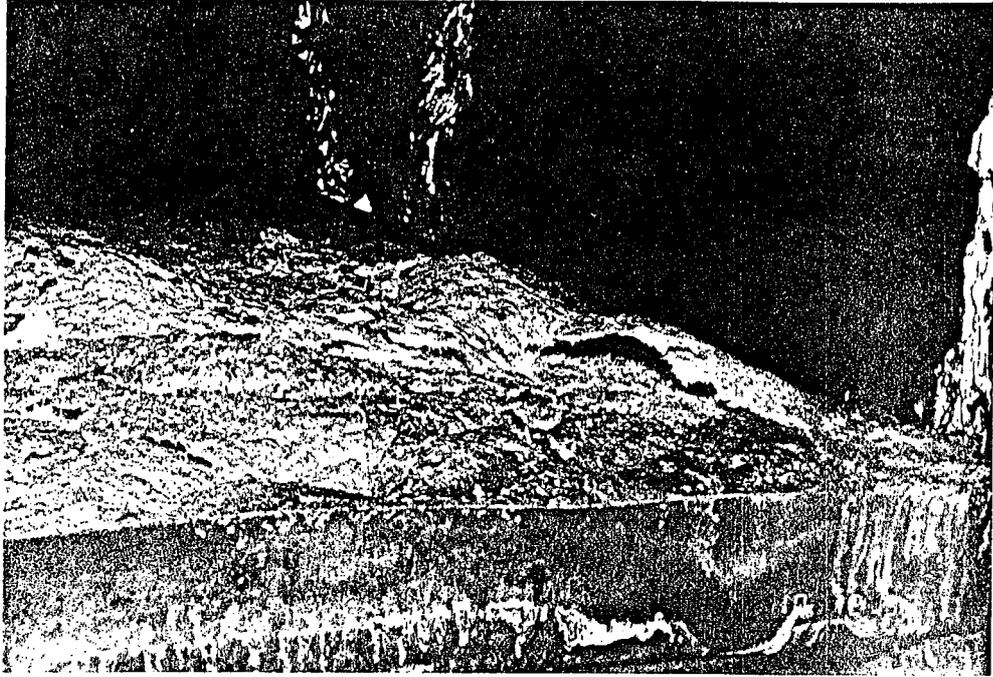


Bild 3: Polypropylenoberfläche, Nahaufnahme der abgeschreckten
Oberflächenschicht

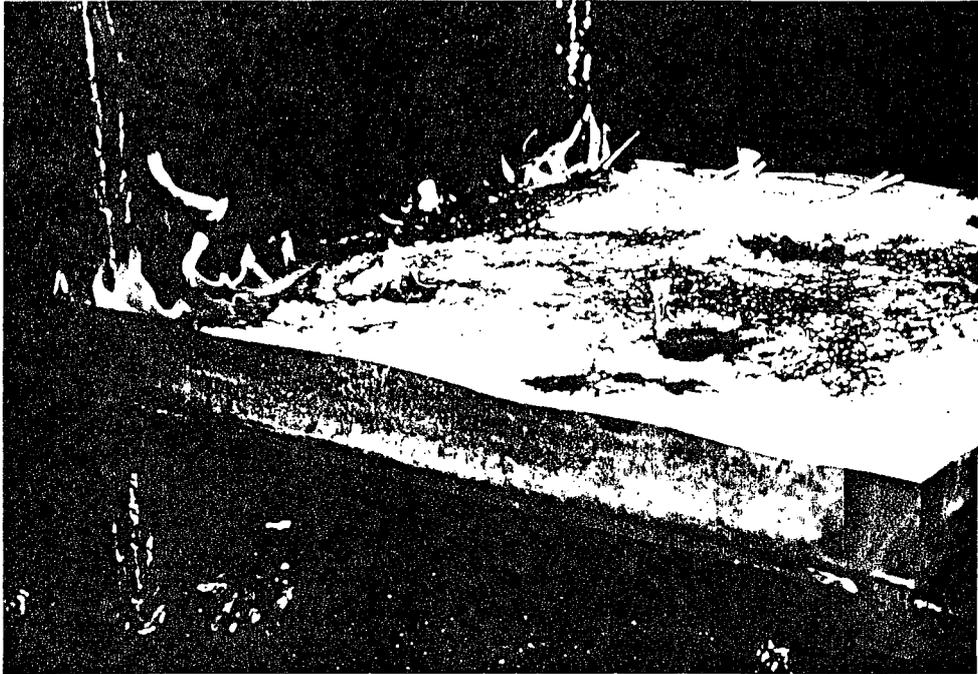


Bild 4: Brennende Polyethylenoberfläche

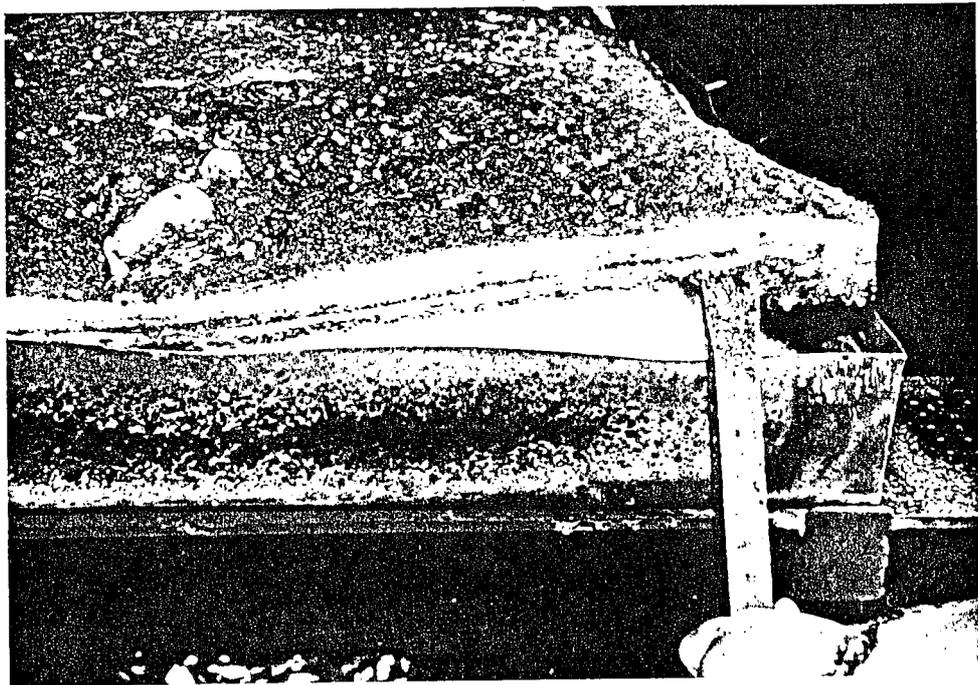


Bild 5: Polyethylenoberfläche nach dem Löschversuch mit Granulatunterschicht

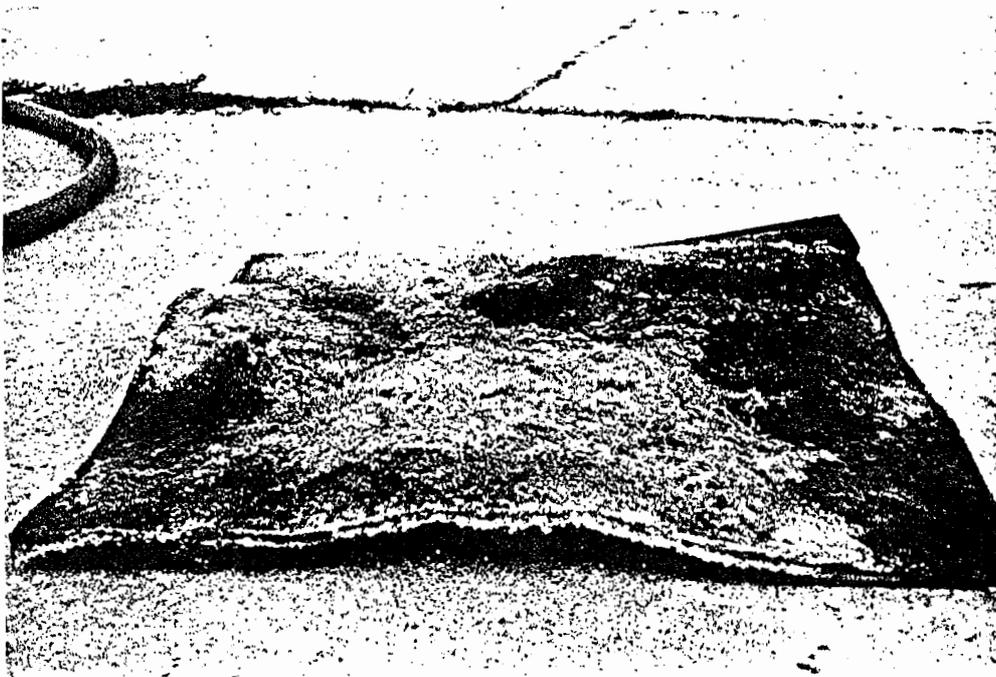


Bild 6: Polyethylenoberfläche, Verwerfungen nach dem Löschversuch

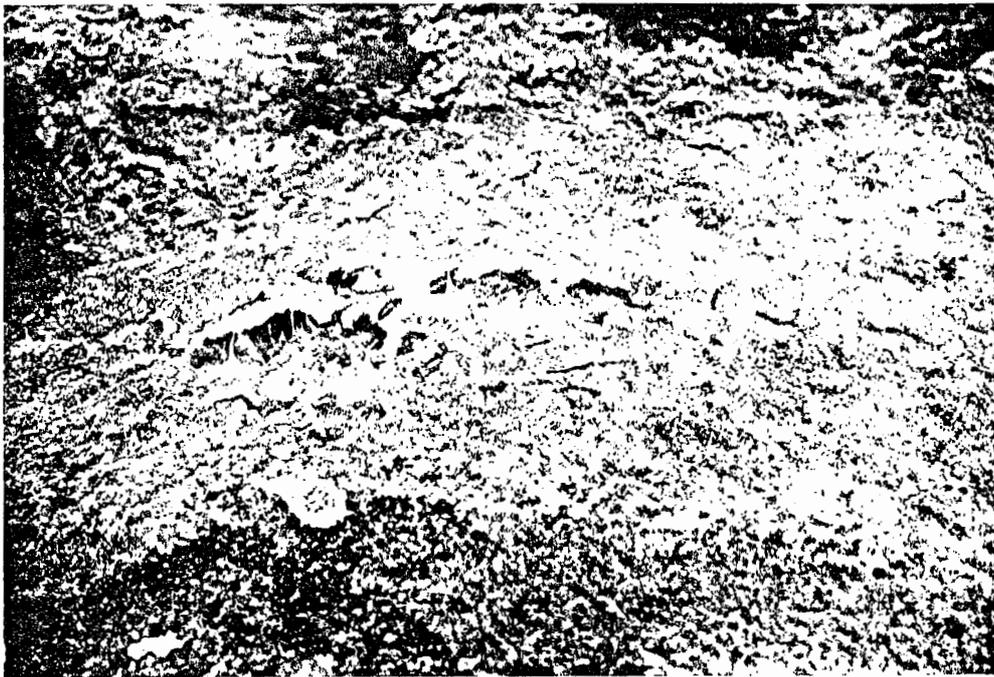


Bild 7: Polyethylenoberfläche Nahaufnahme der abgeschreckten Oberflächenschicht



Bild 8: Polystyroloberfläche, Vorderseite nach dem Löschversuch

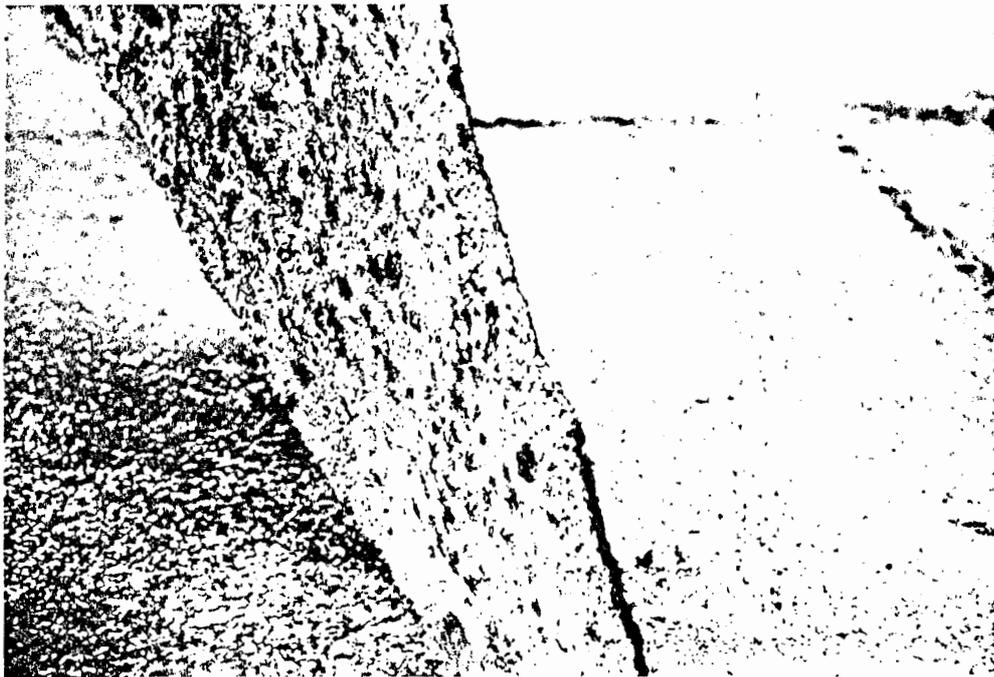


Bild 9: Polystyroloberfläche, Rückseite nach dem Löschversuch



Bild 10: Polymethymethacrylatoberfläche nach dem Löschversuch mit Granulat-
unterschicht

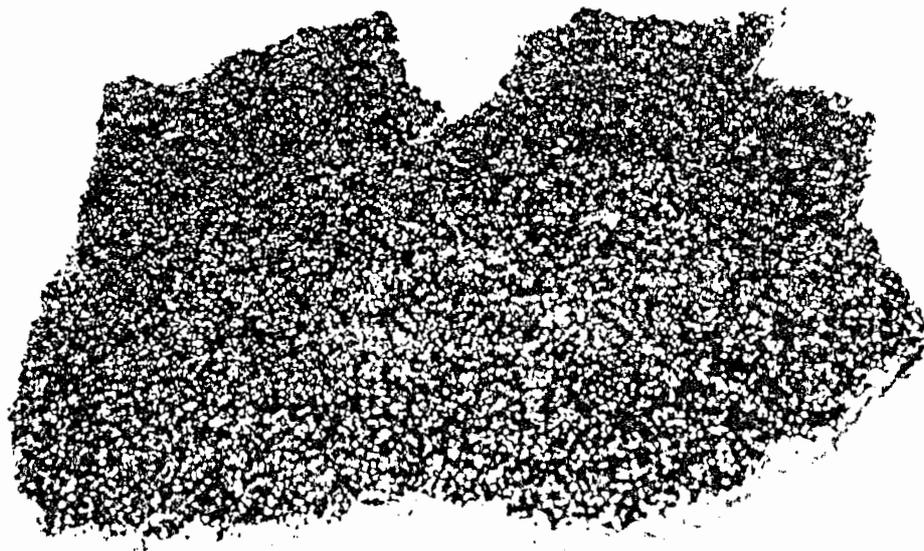


Bild 11: Polymethylmethacrylat, Teilstück der Oberfläche

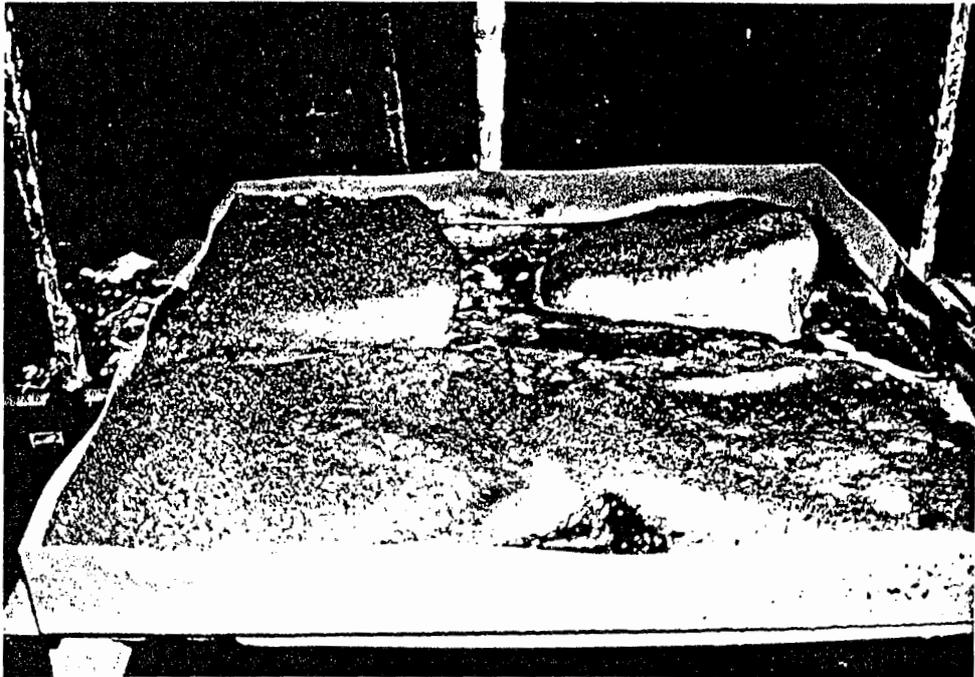


Bild 12: Kautschukoberfläche mit Resten der Kautschukballen



Bild 13: Kautschukoberfläche nach dem Löschen mit teilweise abgeschreckten Oberflächen